

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Оценка рисков чрезвычайных ситуаций при эксплуатации трансформаторных подстанций

УДК 614.8.027.1:621.311.42

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е61	Люкию Елена Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вторушина А.Н.	к.х.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев М.В.	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вторушина А.Н.	к.х.н.		

Томск – 2020 г.

Результаты освоения образовательной программы по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Общие по направлению подготовки	
P1	Способность понимать и анализировать социальные и экономические проблемы и процессы, применять базовые методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности.
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информационных технологий в развитии современного общества и для ведения практической инновационной инженерной деятельности в области техносферной безопасности
P3	Способность эффективно работать самостоятельно, в качестве члена и руководителя интернационального коллектива при решении междисциплинарных инженерных задач с осознанием необходимости интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования
P4	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.
P5	Способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования с целью выбора и оптимизации устройств, систем и методов защиты человека и природной среды от опасностей.
Профиль	
P6	Уметь выбирать, применять, оптимизировать и обслуживать современные системы обеспечения техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов
P7	Уметь организовать деятельность по обеспечению техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов
P8	Уметь оценивать механизм, характер и риск воздействия техносферных опасностей на человека и природную среду
P9	Применять методы и средства мониторинга техносферных опасностей с составлением прогноза возможного развития ситуации

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
20.03.01 Техносферная безопасность
_____ А.Н. Вторушина
04.02.2020 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
1Е61	Люкию Елене Сергеевне

Тема работы:

Оценка рисков чрезвычайных ситуаций при эксплуатации трансформаторных подстанций

Утверждена приказом директора (дата, номер)

28.02.2020 № 59-52/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

08.06.2020 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Трансформаторная подстанция на территории г. Томска. Режим работы непрерывный, так как работа осуществляется круглосуточно.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор литературных источников по условиям безопасной эксплуатации трансформаторных подстанций и причинам аварийных ситуаций на объектах такого типа. Составление вариационной модели развития ЧС на исследуемом объекте (за головное событие принять останов трансформатора). Проведение расчетов с целью определения масштаба последствий в результате взрыва трансформаторной подстанции. Предложение инженерно-технических мероприятий направленных на предупреждение ЧС.

Перечень графического материала	Таблицы, рисунки
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Любовь Юрьевна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	04.02.2020 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Вторушина А.Н.	к.х.н.		04.02.2020 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е61	Люкию Елена Сергеевна		04.02.2020 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение контроля и диагностики
 Период выполнения весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.03.2020 г.	Разработка раздела «Обзор литературы», подбор литературы, проведение теоретических обоснований	20
23.03.2020 г.	Разработка раздела «Объект и методы исследования», рассмотрение методов оценки рисков	10
06.04.2020 г.	Раздел «Практическая часть», возможные аварийные ситуации и их расчет	15
20.04.2020 г.	Раздел «Практическая часть», оценка рисков на основе полученных результатов	15
11.05.2020 г.	Раздел «Практическая часть», предложение инженерно-технических мероприятий	10
25.05.2020 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
08.06.2020 г.	Оформление и представление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вторушина А.Н.	к.х.н.		04.02.2020

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вторушина А.Н.	к.х.н.		04.02.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 1Е61	ФИО Люкию Елене Сергеевне
----------------	------------------------------

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

Тема ВКР:

Оценка рисков чрезвычайных ситуаций при эксплуатации трансформаторных подстанций	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Трансформаторная подстанция, расположенная на территории г. Томска, рабочая зона электромонтера по обслуживанию трансформаторной подстанции
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<p>Правовое обеспечение и организационные мероприятия согласно ГОСТ 12.0.004-2015, Федеральный закон от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ и ТК РФ от 30.12.2001 N197-ФЗ.</p> <p>Законодательные и нормативные документы по теме:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ГОСТ 12.0.003-2015. 2. ТИ Р М-068-2002. 3. СП 52.13330.2016. 4. ГОСТ 12.1.002-84. 5. СанПиН 2.2.4.548-96. 6. Приказ от 28 марта 2014 года N 155н «Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте» (ред. от 20.12.2018) 7. ГОСТ 12.1.038-82.
2. Производственная безопасность:	<p>Произвести анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов, действующих на электромонтера при обслуживании трансформаторной подстанции:</p> <ul style="list-style-type: none"> – недостаточная освещенность; – неблагоприятные условия микроклимата; – электроопасность; – воздействие электромагнитных полей; – работы на высоте.
3. Экологическая безопасность:	Негативное воздействие на литосферу и атмосферу при эксплуатации трансформаторной подстанции.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Определить перечень наиболее возможных ЧС: авария, пожар, разрушение зданий в результате взрыва трансформаторной подстанции.</p> <p>Наиболее актуальная ЧС – возникновение пожара на трансформаторной подстанции.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	04.02.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Гуляев Милий Всеволодович	—		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е61	Люкию Елена Сергеевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1Е61	Люкию Елене Сергеевне

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя – 30000 руб. Оклад студента – 1988 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Премияльный коэффициент руководителя 30%; Доплаты и надбавки руководителя 30%; Коэффициент дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 28%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение потенциального потребителя результатов исследования Анализ конкурентных технических решений SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на НИ: - расчет материальных затрат; - расчет заработной платы (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. Морфологическая матрица
5. Календарный план-график проведения ВКР по теме
6. График проведения и бюджет НИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

04.02.2020

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Спицына Л.Ю.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е61	Люкию Елена Сергеевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 100 страниц, 11 рисунков, 31 таблицу, 36 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: трансформаторная подстанция, трансформатор, оценка риска, взрыв трансформатора, чрезвычайная ситуация.

Объектом исследования является трансформаторная подстанция, расположенная на территории особой экономической зоны города Томска.

Цель работы – оценка рисков чрезвычайных ситуаций при эксплуатации трансформаторных подстанций.

В процессе исследования проводился анализ возможных потенциальных опасностей на трансформаторной подстанции, которые могут вызвать взрыв. На основании анализа была построена вероятностная модель развития сценариев, которые способны привести к возникновению чрезвычайной ситуации. При взрыве трансформатора были рассчитаны зоны разрушений, интенсивность теплового излучения по мере удаления от источника.

В результате исследования были предложены мероприятия, направленные на предупреждение возникновения чрезвычайной ситуации и повышение уровня безопасности исследуемого объекта.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- КТП – комплектная трансформаторная подстанция;
- ЧС – чрезвычайная ситуация;
- ТП – трансформаторная подстанция;
- АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;
- ВЛЭП – высоковольтная линия электропередач;
- ЛЭП – линия электропередач;
- ЦРП – центральный распределительный пункт;
- ОЭЗ – особая экономическая зона;
- ЗРУ – закрытое распределительное устройство;
- ОПО – опасный производственный объект
- ПС – подстанция;
- ТСН – трансформатор собственных нужд;
- ТН – трансформатор напряжения.

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

1. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
2. ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
3. ГОСТ 12.1.002-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.
4. ГОСТ Р 12.3.047-2012 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
5. ГОСТ 14695-80 (СТ СЭВ 1127-78) Подстанции трансформаторные комплектные мощностью от 25 до 2500 кВ·А на напряжение до 10 кВ. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов –1986.
6. ГОСТ Р 22.2.06-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Оценка риска чрезвычайных ситуаций при разработке паспорта безопасности критически важного объекта и потенциально опасного объекта.
7. ГОСТ 24291-90. Электрическая часть электростанции и электрической сети. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2005.
8. ГОСТ Р 51057-2001 Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний.
9. ГОСТ Р 58771-2019 Менеджмент риска. Технологии оценки риска.
10. ГОСТ 982-80 Масла трансформаторные. Технические условия. – М.: Стандартиформ – 2011.
11. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
12. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.

13.РД 153-34.0-03.301-00 (ВППБ 01-02-95*). Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий.

14.ТИ Р М-068-2002. Типовая инструкция по охране труда для электромонтера по обслуживанию подстанций.

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ	9
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	10
НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	11
ОГЛАВЛЕНИЕ	13
ВВЕДЕНИЕ.....	15
1.ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	16
1.1 Характеристика энергетических предприятий	16
1.2 Законодательное основание проведение оценки риска	22
1.3 Анализ статистической информации по аварийности и ущербу на КТП в зарубежных странах.....	24
2.ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	25
2.1 Описание объекта.....	25
2.2 Методы исследования.....	27
2.3Выбор и обоснование методов оценки риска.....	30
3.ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	32
3.1 Основные причины и факторы реализации чрезвычайных ситуаций на ТП	32
3.2 Моделирование типовых сценариев развития аварийных ситуаций на ТП .	33
4.РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	40
4.1 Экспертная оценка факторов и событий, приводящих к ЧС.....	40
4.2 Расчет параметров поражения в результате взрыва ТВС	44
4.3 Разработка рекомендаций по снижению вероятности реализации ЧС	48
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	50
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	51
5.2 Производственная безопасность.....	52
5.3 Экологическая безопасность.....	60
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	61
6.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	66

6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	66
6.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	74
6.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	76
6.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	90
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЯ СТУДЕНТА	92
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	93
ПРИЛОЖЕНИЕ А	97
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	99

ВВЕДЕНИЕ

Для всего современного мира прекращение подачи электроэнергии является большой проблемой. Для того, чтобы передавать электроэнергию на дальние расстояния от того места где она производится до потребления, нужно иметь в наличии повышающие и понижающие трансформаторные подстанции. Ежегодное потребление в России электроэнергии составляет 1000 миллиардов кВт/ч, без учёта потерь электроэнергии, которые составляют 75 миллиардов кВт/ч в год [1].

Целью данной работы является оценка рисков чрезвычайных ситуаций при эксплуатации трансформаторных подстанций.

Актуальность рассмотрения данной темы состоит в том, что, не смотря на развитие техники и технологий, аварийные ситуации на различных производственных объектах продолжают возникать. При эксплуатации трансформаторных подстанций возможны ситуации с выходом трансформаторов из строя, их возгоранием, взрывом и др. Поэтому целесообразно произвести оценку рисков чрезвычайных ситуаций при эксплуатации трансформаторных подстанций.

ООО «Горсети» начало своё отдельное существование с постановления Томского облисполкома № 106 от 1 апреля 1964 года о выделении Городских электрических сетей в самостоятельную структуру.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. анализ основных причин и факторов реализации чрезвычайных ситуаций при эксплуатации трансформаторных подстанций;
2. моделирование типовых сценариев развития чрезвычайной ситуации (построение дерева отказов, дерева последствий);
3. расчёт вероятных зон действия поражающих факторов;
4. разработка рекомендаций по снижению вероятности реализации чрезвычайной ситуации.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Характеристика энергетических предприятий

В России в настоящее время атомные электростанции, гидроэлектростанции, теплоэлектростанции являются главными источниками выработки электроэнергии. Около 50 % электроэнергии вырабатывается на теплоэлектростанциях, которые обычно находятся в местах, где добывают топливо. Теплоэлектроцентрали вырабатывают не только электроэнергию, но и горячую воду и тепло, с помощью которых обеспечивается функционирование городов, т.е. подача тепла и электроэнергии [2].

По статистике Ростехнадзора в 2018 году произошло 39 аварий на объектах электроэнергетики, 33 из которых составляют аварии на подстанциях [3].



Рисунок 1 – Статистика аварий на объектах электросетевого хозяйства

Электроэнергия с электросъёмных шин и кабелей подаётся в электрическую часть электростанции, которая бывает открытого, закрытого и комбинированного типа. В электрической части находится диспетчерский пункт управления электростанцией, автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП), коммутационные аппараты, релейная защита, контрольно-измерительные

приборы и сигнализации, высоковольтные повышающие и понижающие трансформаторы, высоковольтные выключатели, сборные шины и автотрансформаторы. После преобразования энергии электричество подаётся на высоковольтную линию электропередач (ВЛЭП). Линии электропередач должны пропускать большое количество электричества и малые потери, и состоят из проводов, опор, крепёжной арматуры, грозозащитных тросов, а также вспомогательных устройств. По своему назначению ЛЭП подразделяются на сверхдальние, магистральные и распределительные. Основными элементами воздушных линий электропередач являются металлические опоры, которые устанавливаются на определенном расстоянии друг от друга. Они бывают анкерными, промежуточными и угловыми. Анкерные опоры устанавливают в начале и конце линии электропередач, а также в местах перехода инженерных сооружений или естественных преград. Промежуточные опоры устанавливаются на прямых участках и предназначены для поддержки проводов с допустимым провисанием. Угловые опоры устанавливаются на углах поворота линии электропередач. Специальные транспозиционные опоры устанавливаются для изменения порядка расположения проводов на опорах, а также для ответвления проводов от магистральной линии ВЛЭП. Для передачи электроэнергии в высоковольтных линиях электропередач применяются неизолированные провода, изготовленные из алюминия и сталеалюминия. Провода к опорам крепятся при помощи поддерживающих или натяжных изоляторов, которые монтируются на опору подвесным способом, и крепёжной арматуры. В свою очередь изоляторы бывают фарфоровые, с покрытием из глазури, стеклянные, из закалённого стекла, и полимерные, из специальных пластических масс. Для защиты линии электропередач от молнии на опорах натягиваются грозозащитные тросы, устанавливаются разрядники, а опоры заземляются. Так как линия обычно имеет большую протяжённость, то во избежание

потерь напряжения используются промежуточные подстанции с повышающими трансформаторами.

Для дальнейшего распределения электроэнергии к магистральным ВЛЭП подключаются распределительные подстанции, которые в свою очередь раздают электроэнергию на понижающие подстанции. При распределении электроэнергии от подстанции к комплектной трансформаторной подстанции (КТП) может использоваться 2 типа прокладки кабелей: воздушный и под землей. При воздушной прокладке обычно используют алюминиевые или сталеалюминиевые неизолированные провода, которые подвешиваются на опорах. При подземной прокладке используется силовой кабель с медными или алюминиевыми токопроводящими жилами и броней, которая обеспечивает надежную защиту от механических воздействий. Если трансформаторная подстанция находится на большом расстоянии, то использование силового кабеля будет экономически не выгодным, в таком случае используется воздушная прокладка.

От понижающей подстанции по линиям электропередач энергия распределяется между КТП, которые разделяются на мачтовые и киосковые (проходные и тупиковые). Комплектные трансформаторные подстанции осуществляют понижение напряжения с 110 до 0,4 кВ переменного тока частотой 50 Гц и предназначены для подачи электроэнергии в частные дома, отдельные населенные пункты или небольшие промышленные объекты. В мачтовых трансформаторных подстанциях ввод и вывод кабеля осуществляется при помощи воздушных линий. КТП киоскового типа служат для тех же целей, но устанавливаются в простейшую бетонную площадку и имеют серьезное преимущество – они позволяют осуществлять ввод и отвод, как воздушным путем, так и под землей.

Для отвода воздушных линий используется самонесущие алюминиевые изолированные провода, которые подвешиваются на

деревянных или бетонных опорах при помощи монтажной арматуры. Такой способ прокладки распределительной линии используется в частных секторах, гаражных кооперативах или там, где необходимо запитать большое количество потребителей, находящихся на некотором расстоянии друг от друга. Для прокладки подземных линий используется силовой кабель с алюминиевыми или медными жилами, с изоляцией из различных материалов, экранированный, бронированный, с защитным покровом или без него. В зависимости от способа прокладки могут использоваться различные марки кабеля.

В щитовых (специальные комнаты) имеются распределительные пункты, которые получают электроэнергию через провода от трансформаторной подстанции. С помощью распределительных устройств происходит передача электроэнергии в дома и квартиры. Помимо этого, распределительные устройства запитывают аварийное освещение, системы вентиляции, безопасности. Передача электричества от щитовой до щитков на этаже происходит с помощью кабелей, которые согласно условиям пожарной безопасности, должны не распространять горение и иметь низкие показатели дымо- и газовыделения.

Трансформаторная подстанция – электрическая подстанция, с помощью которой электроэнергия высокого напряжения преобразуется в электроэнергию малого напряжения и наоборот.

Комплектная трансформаторная подстанция (КТП) – подстанция, в виде шкафов или блоков, поставляемая в собранном или подготовленном для сборки виде [4].

КТП состоит из:

1. силового трансформатора (преобразует системы переменного тока для того, чтобы обеспечивать безопасную электроэнергию);
2. распределительного устройства (электроустановка), распределяет электроэнергию по разным цепям;

3. автоматического управления (для поддержания постоянной частоты тока на определённом значении);
4. специального защитного устройства (поддерживает трансформаторную подстанцию в определённых нормах);
5. различных вспомогательных сооружений.

Типы и виды трансформаторных подстанций

Понижающие трансформаторные подстанции осуществляют переход электрической сети первичного напряжения во вторичную, то есть уменьшает его.

Повышающие трансформаторные подстанции изменяют напряжение, которое выработали генераторы в большую сторону.

Также комплектные трансформаторные подстанции подразделяются на районные и местные. Их цель – распределение электрической энергии по каким-либо объектам (потребителям). Для достижения своей главной цели трансформаторные подстанции вначале получают электрическую энергию, а уже затем осуществляют передачу дальше. Схема трансформаторных подстанций используется, чтобы технически правильно распределять электрическую энергию.

Виды трансформаторных подстанций по значению напряжения:

- Трансформаторная подстанция узловая распределительная (рассчитана на диапазон напряжения от 110 до 220 кВ). Электрическая энергия поступает от энергетической системы и распределяет энергию по подстанциям глубокого ввода, без участия трансформаций.
- Трансформаторная подстанция глубокого ввода (рассчитана на диапазон напряжений от 35 до 220 кВ). Данная подстанция получает питание от энергетической системы или ЦРП (центральный распределительный пункт) и производит обеспечение электроэнергией крупные объекты или группу подстанций.

- Главная понижающая трансформаторная подстанция. С помощью них происходит распределение электрической энергии по объекту, а также может подпитываться электроэнергией от какого-либо определённого района.
- Тяговая трансформаторная подстанция. Применяется для обеспечения потребителей-объектов, например, электротранспорт (троллейбус, трамвай).

Трансформаторные подстанции по охвату территории:

- Локальные трансформаторные подстанции обеспечиваются напряжением от 1 до нескольких масштабных объектов, которые расположены либо на незначительном промежутке, либо находятся рядом друг с другом. В качестве примера можно указать на парк аттракционов.
- Местные трансформаторные подстанции преобразуют напряжение для определённых объектов, которые находятся в одном районе.
 - Районные трансформаторные подстанции обрабатывают, преобразовывают, распределяют напряжение по всему району.

Комплектная трансформаторная подстанция бывает различных типов:

- Трансформаторная подстанция столбового типа. Используется очень часто, так как она экономически выгодна и устанавливается на опору линии электропередач. Но из-за невысокой защиты может быть повреждена внешними факторами.
- Мачтовая трансформаторная подстанция. Компактна в использовании и не монтируется на ЛЭП.
- Трансформаторная подстанция киоскового типа. Данная подстанция устанавливается наружно, является сборной сварочной конструкцией. Цель – получение электроэнергии переменного тока 3 фаз.

- Трансформаторная подстанция наружной установки принимает электрической энергии, затем преобразует и распределяет её. Широко применяются в газовой отрасли.
- Трансформаторная подстанция внутренней установки часто используется в сельском хозяйстве в районах, где преобладает умеренный климат.

Закрытый тип трансформаторной подстанции делится на такие виды:

- Пристроенная подстанция обычно пристраивается к основному объекту (зданию).
- Встроенная (закрытая) подстанция вписывается в контур основного объекта (здания).
- Внутрицеховая подстанция располагается непосредственно внутри самого объекта (здания) [5].

1.2 Законодательное основание проведение оценки риска

В соответствии с Приказом от 29.06.2016 года № 726 – ст «Об утверждении национального стандарта» утверждено добровольное применение национального стандарта РФ ГОСТ Р 22.2.06-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Оценка риска чрезвычайных ситуаций при разработке паспорта безопасности критически важного объекта и потенциально опасного объекта [6].

Оценку риска ЧС следует осуществлять в паспорте безопасности:

- критически важного объекта, одновременно являющегося потенциально опасным объектом;
- критически важного объекта, не являющимся одновременно потенциально опасным объектом, но попадающим в зону действия поражающих факторов источников природной чрезвычайной

ситуации и поражающих факторов источников чрезвычайной ситуации от рядом расположенных потенциально опасных объектов;

- потенциально опасного объекта [7].

В соответствии с пунктом 1 статьи 2 от 21.07.1997 № 116 Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» опасными производственными объектами являются предприятия или их цехи, участки, площадки, а также иные производственные объекты, указанные в приложении 1 ФЗ [8].

Подпунктом «в» пункта 1 приложения 1 к Закону № 116-ФЗ предусмотрено, что категории опасных производственных объектов (далее – ОПО) отнесены объекты, на которых используются горючие вещества, т.е. жидкости, газы, пыли, способные самовозгораться, а также возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления. Трансформаторные масла являются малоопасными продуктами и по степени воздействия на организм человека относятся к IV классу опасности в соответствии с ГОСТ 12.1.007 Согласно п. 3.2 ГОСТ 982-80 трансформаторные масла представляют собой горючие жидкости с температурой вспышки 135°C [9].

В соответствии с ФЗ № 116 Приложение 1 п. 1) б) — объект относится к категории опасных производственных объектов, в виде окисляющих веществ (вещества, поддерживающие горение, вызывающие воспламенение и (или) способствующие воспламенению других веществ в результате окислительно-восстановительной экзотермической реакции).

В пункте 12 приложения 1 к Методическим рекомендациям по осуществлению идентификации опасных производственных объектов, в соответствии с приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 05.03.2008 № 131, трансформаторные подстанции (с учётом объёма резервного трансформаторного масла) находятся в числе опасных производственных объектов тепло- и электроэнергетики [10].

Аппараты, приборы, токоведущие части, изолирующие опоры, крепления, несущие конструкции, которые применяются в комплектных трансформаторных подстанциях должны быть выбраны и установлены с учетом максимально возможной локализации аварии [11].

1.3 Анализ статистической информации по аварийности и ущербу на КТП в зарубежных странах

В Европе широко исследуются комплектные трансформаторные подстанции. В статье [12] приведен пример анализа данных о неисправностях трансформаторных подстанций напряжением 100-500 кВ в Европе.

В работе проводился анализ работы трансформаторных подстанций на 32 объектах коммунального хозяйства, в таких странах как Великобритания, Австрия, Испания, Германия, Нидерланды, Швейцария, Дания, Франция, на основании отказов, которые произошли на трансформаторных подстанциях в период с 2000 по 2010 год. Данную группу ТП рассматривают как одну по срокам эксплуатации, спецификации и техническому обслуживанию.

Рабочей группой был разработан опросный лист, где были проанализированы главные неисправности трансформаторных подстанций. Проведенный опрос показал, что после определенного срока эксплуатации трансформаторных подстанций вероятность отказов не повышалась. На статистику отказов ТП влияют замены преимущественно старых трансформаторов, так как они не обслуживаются в дальнейшем после выхода из строя. Следовательно, для моделирования данные не могут использоваться. Выявили, что основным источником отказов трансформатора является обмотка, сравнивая результаты опросов 1983 года. Взрыв или пожар происходит в основном по причине сбоя проходного изолятора.

2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Описание объекта

Трансформаторная подстанция ПС 110/35/10 кВ «ОЭЗ» с двумя трансформаторами 110/35/10 кВ мощностью 63 МВА каждый находится на территории особой экономической зоны в г. Томске (участок №1, район Академгородка) [13].

Основное функциональное назначение – объект производственного назначения. Основными технологическими процессами в рамках производства являются прием, передача, трансформация и перераспределение электрической энергии.

ПС 110/35/10 кВ «ОЭЗ» предназначена для преобразования электрической энергии напряжением 110 кВ в напряжение 35 кВ и 10 кВ. Электроэнергия напряжением 10 кВ используется для электроснабжения проектируемых распределительно-трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ объектов Особой экономической зоны. Электроэнергию напряжением 35 кВ используют в качестве резервного питания ПС 35/10 кВ «Академическая».

Ситуационная схема размещения подстанции ПС 110/35/10 кВ «ОЭЗ» представлена на рисунках 2, 3.

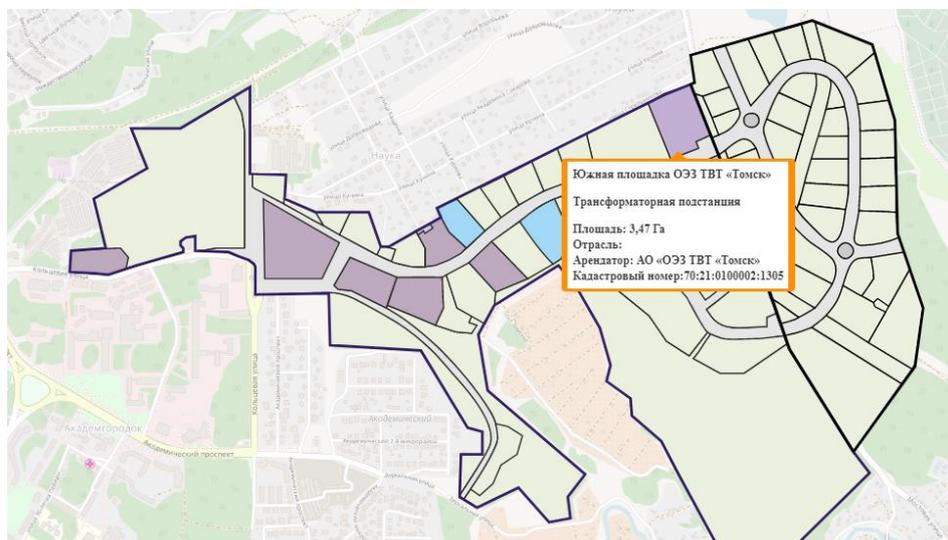


Рисунок 2 – Расположение ПС 110/35/10 кВ «ОЭЗ»

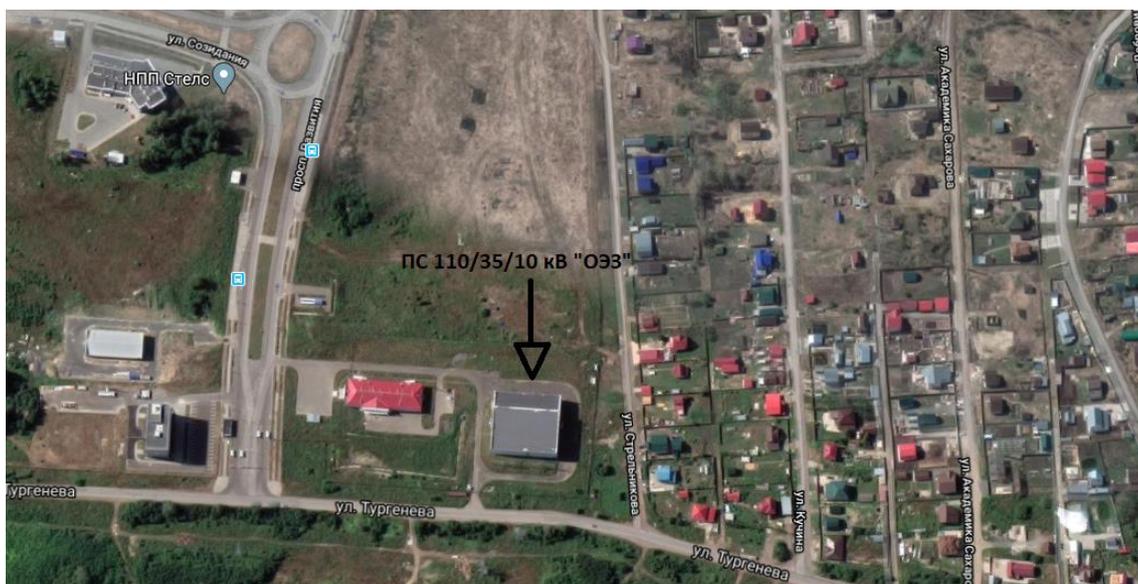


Рисунок 3 – Расположение ПС 110/35/10 кВ «ОЭЗ»

Подстанция выполнена в закрытом исполнении. В состав закрытой подстанции входят:

- трехфазные силовые трансформаторы 110/35/10 кВ в количестве двух штук мощностью по 63 МВА каждый;
- закрытое распределительное устройство (ЗРУ) 110 кВ по схеме «Одна рабочая система шин, секционированная выключателем» с 5-ю элегазовыми выключателями 110 кВ (2-ВЛ 110 кВ, 2-вводных 110 кВ, 1-секционный 110 кВ), выполненное на блочно-модульных конструкциях «БМК-Исеть» и резервом по месту для 2-х линейных ячеек 110 кВ;
- перспективное КРУ 35 кВ по схеме «Одна рабочая система шин, секционированная выключателем» с 5-ю вакуумными выключателями 35 кВ, запроектированное на ячейках типа «ТавридаЭлектрик» и резервом по месту 2-х линейных ячеек 35 кВ;
- два дугогасящих реактора установки, подключаемые через маслонаполненные трансформаторы мощностью по 250 кВА каждый.

Здание подстанции двухэтажное с кабельным подвальным этажом. В помещении ПС расположен щит управления, автоматики и защиты оборудования подстанции, щит переменного тока с двумя сухими

трансформаторами собственных нужд по 630 кВА каждый, щит постоянного тока с двумя аккумуляторными батареями, помещения токоограничивающих реакторов, серверная, комната связи, а также помещения для постоянного дежурного персонала, КРУ 10 кВ с двумя секциями ячеек 10 кВ с вакуумным секционным выключателем 10 кВ. На каждой секции запроектированы ячейки с вакуумными выключателями 10 кВ: 1 вводная, 9 линейных, 2 резервные, 1 для подключения дугогасящих реакторов, 1 для подключения трансформаторов собственных нужд (ТСН), а также по 2 ячейки трансформаторов напряжения (ТН) 10 кВ.

Максимальная мощность электроприемников составляет 50 МВт.

Для предотвращения растекания масла и распространения пожара при аварии трансформатора предусмотрено устройство маслоприемников, маслоотводов, маслосборника.

Рабочее освещение (~220 В). Аварийное (эвакуационное, охранное ~220 В) и ремонтное освещение технических помещений подстанции (~36 В). Светильники приняты с лампами накаливания и натриевыми лампами.

Численность постоянно обслуживающего персонала составляет 1 человек.

Режим работы подстанции – круглосуточный, 365 дней в году.

Полная масса одного силового трехфазного трансформатора составляет 117200 кг. Полная масса масла – 30190 кг.

2.2 Методы исследования

В качестве метода исследования был выбран вероятностный метод. С помощью данного метода можно представить исходные события, которые в дальнейшем могут привести к чрезвычайной ситуации. Далее в работе будет использоваться метод экспертных оценок, поскольку нет статистических данных по авариям на рассматриваемом объекте (объект планируется к вводу в работу).

При оценке и анализе риска выполняются такие мероприятия, как:

- Идентификация опасностей;
- Построение дерева событий и дерева отказов (метод «галстук-бабочка»);
- Использование экспертного метода для анализа вероятности реализации факторов и причин, приводящих к аварийным ситуациям на трансформаторной подстанции;
- Оценка риска и проведение мероприятий для минимизации возникновения ЧС.

Метод анализа дерева неисправностей (отказов) идентифицирует и анализирует факторы, способствующие появлению исследуемого события, которое является опасным (конечное событие).

Чтобы провести качественный анализ нужно знать систему и понимать, почему появляются причины отказа и почему система может выйти из строя. Рекомендуется использовать частичные схемы дерева отказов для полного понимания.

В методе дерева событий используется графический метод, где выражаются последовательные события. События могут взаимоисключать друг друга и появляются после возникновения исходного события. С помощью метода дерева событий можно не только количественно оценить ситуацию, но и качественно [14].

Дерево событий строится с начального события. В случае с трансформаторной подстанцией это может быть взрыв трансформатора. В дальнейшем рассматривают системы, которые могут смягчить последствия. Для того чтобы составить пути развития событий, оценивают условную вероятность при помощи метода экспертных оценок. Необходимо учесть тот факт, что мы используем условную вероятность при взрыве трансформаторной подстанции. Каждая ветвь в дереве событий будет являться вероятностью появления какого-либо определённого события. Чтобы получить вероятность самого результата, перемножаются

отдельные вероятности и вероятность возникновения исходного события, учитывая при этом независимость событий.

С помощью дерева событий возможно отображение развития сценариев событий, начиная с исходного, и позволяет произвести анализ системы в целом, при этом оценивая вероятность возникновения события.

При использовании метода «галстук-бабочка» возможно схематично описать и развить анализ главного события, которым будет взрыв трансформаторной подстанции, с помощью причин и последствий. В методе «галстук-бабочка» используется дерево событий и дерево неисправностей.

Начальными данными будут данные причин и последствий взрыва трансформаторной подстанции, риск их возникновения и барьеры, которые могут уменьшить воздействие опасности.

В экспертном методе оценок участвуют специалисты, которые обладают знаниями и умениями в данной области. Обычно данный метод применяют при отсутствии статистических данных. При реализации экспертного метода оценки риска, экспертам необходимо ответить на вопросы анкеты, где учитывается состояние объекта. Далее анкеты экспертов обрабатываются и представляются в виде таблиц, где описаны качественные характеристики реализации ЧС и присвоены баллы в виде вероятностных значений, то есть количественных [15].

Особую важность имеет шкала оценок, которую используют эксперты. Лучше всего использовать шкалу от 3 до 8, где каждому числу приписывают определённую вероятность. Каждая вероятность сопровождается краткой характеристикой. Для того, чтобы произвести математическую обработку экспертных оценок и интерпретировать её возможно привлечение различных моделей. Чтобы достоверность метода экспертных оценок была более вероятной, проводят отбор экспертов по различным критериям. Если правильно организовать проведение метода экспертных оценок, то достоверность оценок будет высокой.

2.3 Выбор и обоснование методов оценки риска

В соответствии с руководством по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» методы анализа риска подразделяются на 3 приема: вероятностный, феноменологический и детерминистский [16].

1. Вероятностный метод. Вероятностный метод включает в себя оценку вероятности возникновения аварии, а также расчет относительной вероятности путей протекания процесса. Чтобы выполнить оценку вероятности возникновения аварии необходимо иметь математическую программу для расчета вероятностей, выбрать и определить все события и факторы, которые смогут привести к отказу оборудования. Математическая модель вероятностного метода оценки рисков значительно легче и проще, чем модель детерминистского метода. В вероятностном методе оценки риска есть свои недостатки: недостаточность информации ввиду непродолжительной работы оборудования, неполнота сведений по расчетам, следовательно, снижение вероятности получаемых оценок из-за простоты расчетов.

2. Феноменологический метод. Данный метод основан на установлении возможности или невозможности развития аварийных процессов, основываясь на результатах анализа условий достаточности и необходимости, связанных с теми или иными законами природы. Положительными аспектами метода является его применимость, надежность результатов, с условием того, что система позволяет рассматривать достаточный запас процессов и результатов. Если этого будет недостаточно, то метод будет ненадежным. Этот метод можно применять, когда оценивается безопасность различных технологий и процессов, установок, но его нельзя использовать при оценке риска сразу нескольких аварийных процессов, ввиду того, что процессы

развиваются по-разному и во многом зависят от всего функционала и средств защиты.

3. Детерминистский метод. Метод подразумевает анализ порядка этапов развития аварии от финального события через последовательность предполагаемых стадий деформаций, отказов и разрушения компонентов до определенного конечного состояния системы. С помощью математических программ, наглядных математических моделей и качественных расчетов возможно просчитать аварийный процесс и как он будет осуществляться. При помощи детерминистского метода выявляются главные недостатки и факторы, которые могут привести к возникновению аварийного процесса, где все показывается наглядно и приемлемо. Детерминистский метод сложен построениями математических моделей, проведениями исследований и большими затратами. Учитывая сложность построения математических моделей, возникает вероятность не учесть главные моменты развития аварий.

Таким образом, в данной работе целесообразно использовать вероятностный метод, поскольку отсутствуют статистические данные по аварийности трансформаторной подстанции ввиду того, что трансформаторная подстанция ещё не введена в эксплуатацию.

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Основные причины и факторы реализации чрезвычайных ситуаций на ТП

Аварии на трансформаторных подстанциях происходят не так часто, но могут принести большой ущерб, а именно отключение электроснабжения. Аварии могут произойти в результате ошибочных действий персонала, повреждения оборудования, перенапряжения сети, неисправности релейной защиты или автоматики. В результате данных причин возможен выход трансформатора из строя, возникновение пожара на трансформаторной подстанции, взрыв трансформаторной подстанции и как следствие, прекращение электроснабжения.

Одной из наиболее распространённых причин аварий является удар молнии, из-за которого возможна перегрузка трансформатора. Повреждение проводов или оборудования в различных местах сети может привести к взрыву. Коррозия металла и износ с течением времени ослабляют изоляцию проводов трансформатора, а также других его компонентов, что может привести к выходу трансформатора из строя.

Избыточного тепла или искры достаточно, чтобы воспламенить минеральное масло в трансформаторе. При горении минеральное масло создает избыточное давление внутри герметичного трансформатора, что в конечном итоге приводит к разрыву сосуда с потоком искр и пламени.

Характер эксплуатации трансформаторной подстанции не предполагает хранение, использование, переработку, транспортировку или уничтожение взрывопожароопасных, аварийно химически опасных, биологических и радиоактивных веществ и материалов. Однако в технологическом процессе силовых трансформаторов участвует трансформаторное масло, которое является пожароопасным веществом.

Причины аварий на комплектных трансформаторных подстанциях:

- Ошибки электротехнического персонала (Трансформаторная подстанция работает в автоматическом режиме. Специально

обученный персонал следит за процессом при помощи контролирующих устройств: датчиков напряжения, температуры и давления. Поэтому технологические нарушения порой возникают из-за человеческого фактора. Например, из-за незаземления токоведущей части или подачи напряжения на неисправное оборудование.).

- Некачественный ремонт или монтаж (Сюда можно отнести плохую регулировку приводов коммутаторов, недостаточно подтянутые контакты, заводские дефекты оборудования. Например, если не затянуть контакт, он при работе начинает нагреваться, в результате может возникнуть электрическая дуга. Она способна пробить изоляцию и привести к пожару трансформатора и всей подстанции.).
- Неисправность системы защиты трансформаторной подстанции (Комплектная трансформаторная подстанция оборудована средствами защиты.).
- Неправильное заземление (Опасны однофазные замыкания на землю в сети 6-35 кВ. Тогда напряжение на эту фазу снижается до 0, а остальных фаз повышается до линейного значения. При этом возникает перенапряжение. Появляется электрическая дуга, которая нарушает изоляцию шины. Изоляция и провода плавятся.).
- Перенапряжение в сети: грозовое и коммутационное (Такие перепады напряжения ведут к нарушению изоляции и пожарам. Поэтому подстанции оборудуют устройствами грозозащиты. От технологических нарушений в работе трансформаторной подстанции никто не застрахован [17].

3.2 Моделирование типовых сценариев развития аварийных ситуаций на ТП

Для того, чтобы провести анализ развития чрезвычайных ситуаций на трансформаторной подстанции, нужно построить вероятностную

модель развития событий, которая приведет к реализации чрезвычайных ситуаций. Были собраны данные о трансформаторной подстанции.

В результате анализа причин и факторов, которые могут привести к реализации ЧС наиболее ущербным является взрыв трансформаторной подстанции, который также включает в себя анализ возможности возникновения пожара.

В таблице 1 представлены типичные инициирующие события и факторы, которые могут привести к взрыву трансформаторной подстанции.

Таблица 1 – Иницирующие факторы и события

Обозначение	Наименование события
ЧС	Взрыв трансформаторной подстанции
M1	Перенапряжение электрической сети
M2	Выход трансформатора из строя
M13	Грозовой удар молнии
B2	Короткое замыкание между сторонними системами электричества и ВЛЭП
B3	Увеличение индуктивной нагрузки
B4	Накопление электростатики в сухой среде
B5	Электромагнитные помехи
B6	Дуговое замыкание в ЛЭП
M3	Коррозия металла
M4	Течь минерального масла из сварного шва
M5	Замыкание в рабочих частях трансформатора (в узлах)
M6	Воспламенение минерального масла в трансформаторе
M7	Некачественный ремонт/монтаж
M8	Неисправность системы защиты трансформаторной подстанции
B7	Неисправный молниеотвод
B8	Межкристаллитная коррозия из-за длительной вибрации активной части трансформатора
B9	Воздействие окисляющего трансформаторного масла на металл
B10	Некачественные сварные швы
B11	Механические воздействия, приводящие к разрушению сварного шва
B12	В корпусе крана коробка не притерта
B13	В месте фланцевых соединений имеются некачественные уплотнения и прокладки

Продолжение таблицы 1

M9	Витковое замыкание
M10	Междуфазное короткое замыкание. Замыкание на корпусе
V14	Наличие искры
M11	Повышенная температура в трансформаторе
V15	Незаземлённые токоведущие части
V16	Подача напряжения на неисправное оборудование
V17	Плохая регулировка приводов коммутаторов
V18	Недостаточно подтянутые контакты
V19	Заводские дефекты оборудования
V20	Незаземлённые токоведущие части
V21	Ненастроенная сетевая отсечка
V22	Несрабатывание токовой защиты в определенное время
V23	Неисправность средств автоматического ввода резерва
V24	Не включение аварийного вводного выключателя и отсутствие контроля перегрева обмотки трансформатора
V25	Естественное старение и износ изоляции
V26	Систематические перегрузки трансформатора
V27	Динамические перегрузки трансформатора
V28	Старение изоляции, увлажнение масла и понижение его уровня
V29	Перенапряжение в трансформаторе
V30	Деформация обмотки в трансформаторе
V31	Перегрузка трансформатора (высокое напряжение в первичной обмотке)
V32	Некачественный сердечник в трансформаторе
M12	Низкий уровень минерального масла в трансформаторе
V33	Нарушение условий системы охлаждения в результате попадания тополиного пуха в жалюзийные решетки трансформатора
V34	Механическое повреждение целостности бака для трансформаторного масла
V35	Неисправный маслоуказатель

На рисунке 4 представлена часть схемы возможного развития чрезвычайной ситуации на трансформаторной подстанции

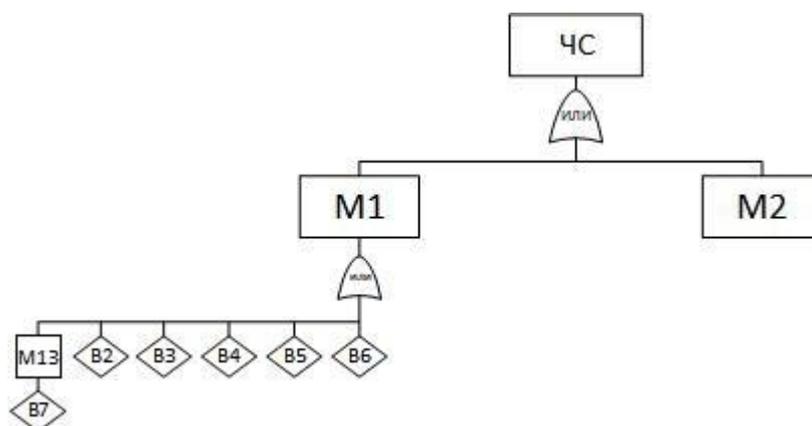


Рисунок 4 – Схема развития события M1

При грозовом ударе молнии происходит резкое повышение напряжения, поэтому в короткое время может произойти выход трансформатора из строя, что приведет к его взрыву. Короткое замыкание между сторонними системами электричества и ВЛЭП возникает из-за обрыва контактного провода и его попадания на высоковольтные линии. Увеличение индуктивной нагрузки связано с высокой частотой импульсных напряжений, на это влияют параметры электрической сети, а также коммутационное оборудование. При накоплении электростатики в сухой среде образуется сильное электростатическое поле, разряд которого может повысить напряжение электросети кратковременно [18].

Кроме внешних воздействий, которые могут привести к перегрузке трансформатора, также трансформатор может выйти из строя по различным причинам (рисунок 5).

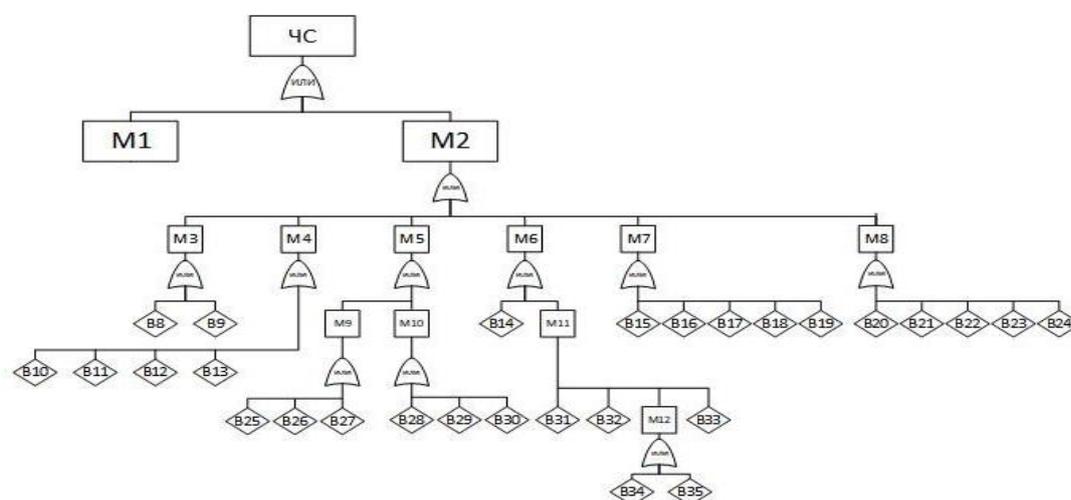


Рисунок 5 – Схема развития события M2

Трансформатор может выйти из строя по причине коррозии металла, течи минерального масла из сварного шва, наличие замыкания, воспламенения минерального масла в трансформаторе, некачественного ремонта/монтажа, а также по причине неисправности системы защиты трансформаторной подстанции.

Коррозия металла в трансформаторе происходит из-за воздействия окисляющего масла на металл, а межкристаллитная коррозия происходит от длительной вибрации в трансформаторе.

Течь минерального масла из сварного шва может происходить по причине некачественных сварных швов, некачественно уплотненной прокладки, механических воздействий, недостаточно притертой коробки в корпусе крана. Минеральное масло в трансформаторе может воспламениться из-за наличия искры и повышенной температуры в трансформаторе. В летний период тополиный пух забивает жалюзийные решетки в трансформаторе, следовательно, нарушаются условия охлаждения и трансформаторное масло начинает нагреваться.

Незаземленные токоведущие части, некачественный ремонт, недостаточно подтянутые контакты, плохая регулировка приводов коммутаторов, подача напряжения на неисправное оборудование, заводские дефекты оборудования, все эти причины являются некачественным ремонтом/монтажом оборудования.

На неисправную систему защиты трансформатора влияет незаземленные токоведущие части, неисправный молниеотвод, ненастроенная сетевая отсечка, несрабатывание токовой защиты в определенное время, неисправность средств автоматического ввода резерва, а также не включение аварийного вводного выключателя и отсутствие контроля перегрева обмотки трансформатора.

Выход трансформатора из строя также возможен по причине замыкания в частях трансформатора (рисунок 6).

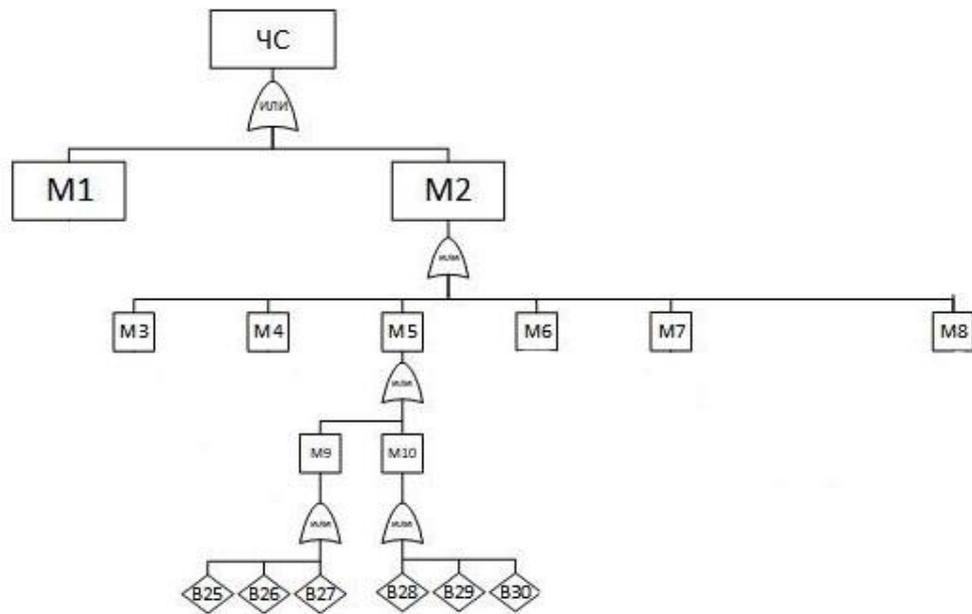


Рисунок 6 – Схема развития события М5

Витковое замыкание в трансформаторе происходит при естественном старении и износе изоляции, систематических перегрузках, динамических перегрузках. Междофазное короткое замыкание возникает при увлажненном минеральном масле, перенапряжения в трансформаторе, а также при деформации обмотки в трансформаторе.

Итоговая вероятностная модель развития чрезвычайной ситуации на трансформаторной подстанции представлена на рисунке 7.

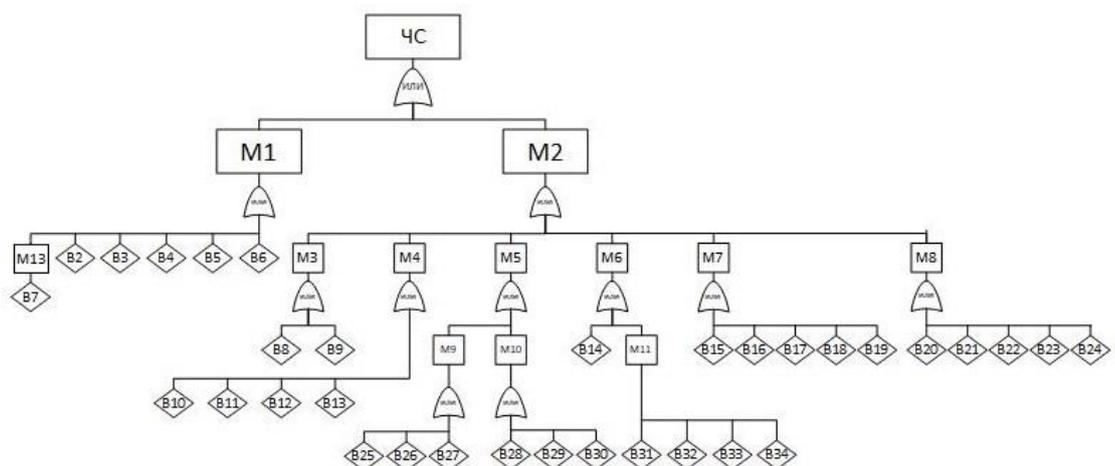


Рисунок 7 – Вероятностная модель развития ЧС

Любой сценарий, описывающий ЧС, начинается с инициирующего события, который может возникнуть с некоторой частотой.

Сценарий развития ЧС на трансформаторной подстанции представлен в виде «Дерева событий» на рисунке 8.

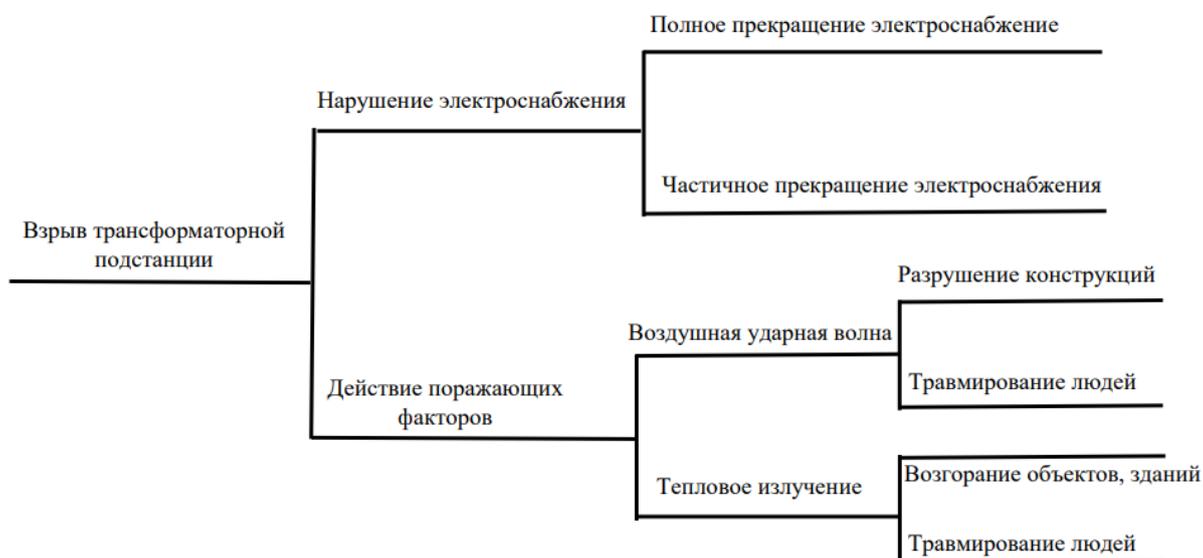


Рисунок 8 – «Дерево событий» в результате взрыва трансформаторной подстанции

В результате построения «дерева неисправностей» и «дерева событий» построили диаграмму «галстук-бабочка» и указали профилактический и реактивный контроль (рисунок 9).



Рисунок 9 – Диаграмма «галстук-бабочка»

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

4.1 Экспертная оценка факторов и событий, приводящих к ЧС

Для дальнейшей оценки рисков рассмотрели подробно схему развития события М2, так как именно эта схема включает в себя большую часть событий, которые могут привести к взрыву трансформатора. Оценка вероятности реализации чрезвычайных ситуаций проводилась методом экспертных оценок. Метод экспертных оценок состоял из следующих этапов:

- создание опросного листа;
- опрос экспертов;
- обработка и представление полученных данных;
- анализ полученных данных.

Представленный экспертам опросный лист представлен в Приложении А.

В качестве экспертов была выбрана группа, куда вошли 10 работников предприятия, имеющие большой опыт в эксплуатации аналогичных подстанций.

Экспертам было необходимо определить вероятность выхода трансформатора из строя по 5-бальной шкале:

- 1 балл – очень низкая, скорее всего не произойдет (1-20 %);
- 2 балла – низкая, маловероятно, что произойдет (21-40 %);
- 3 балла – средняя, вероятно, что произойдет (41-60 %);
- 4 балла – высокая, скорее всего произойдет (61-80 %);
- 5 баллов – очень высокая, произойдет раньше, чем ожидается (81-100 %).

Результаты опросного листа представлены в Приложении Б.

С помощью программного пакета STATISTIKA производился статистический анализ. В соответствии с таблицей, представленной в

Приложении Б, событиям был присвоен номер от 1 до 25 и произведено ранжирование этих событий (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты ранжирования оценок

Событие	Номер эксперта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3	3,5	3,5	3	3	3,5	3	3,5	4	3
2	3	3,5	3,5	3	3	3,5	3	3,5	4	3
3	16,5	15	16	17	16,5	20	21	16	16	17
4	3	3,5	9,5	3	3	3,5	3	3,5	4	3
5	24,5	25	24,5	22	24,5	24	24,5	22	22	24,5
6	9,5	15	9,5	9,5	9,5	9,5	14,5	9,5	4	9,5
7	9,5	9	9,5	9,5	9,5	9,5	14,5	9,5	10	9,5
8	9,5	3,5	3,5	9,5	9,5	9,5	8	9,5	10	3
9	3	3,5	3,5	3	3	3,5	3	3,5	4	3
10	21,5	21,5	21,5	24,5	21,5	20	21	22	25	22
11	9,5	9	16	9,5	9,5	9,5	8	16	16	9,5
12	16,5	15	16	17	16,5	15	14,5	16	16	17
13	24,5	21,5	24,5	24,5	24,5	24	24,5	25	22	24,5
14	3	3,5	3,5	3	3	3,5	8	3,5	4	9,5
15	9,5	9	9,5	9,5	9,5	15	14,5	9,5	10	9,5
16	9,5	15	9,5	9,5	9,5	9,5	8	9,5	10	9,5
17	21,5	21,5	21,5	17	21,5	20	14,5	16	22	22
18	16,5	15	16	17	16,5	15	14,5	22	16	17
19	21,5	21,5	21,5	22	21,5	20	21	22	22	17
20	9,5	9	3,5	9,5	9,5	3,5	3	9,5	10	9,5
21	21,5	21,5	21,5	22	21,5	24	21	22	22	22
22	16,5	15	16	17	16,5	20	21	16	16	17
23	16,5	15	16	17	16,5	15	14,5	16	16	17
24	16,5	21,5	16	17	16,5	15	14,5	16	16	17
25	9,5	9	9,5	9,5	9,5	9,5	8	3,5	4	9,5

Наименьший ранг был присвоен наименее вероятному событию, наибольший ранг – наиболее вероятному событию. В зависимости от количества сравниваемых объектов в значительной мере проявляется надежность и точность результатов. Чем меньше объектов, тем выше их различимость, по мнению эксперта. Таким образом, возможно надежное установление ранга объекта [19].

После проведения ранжирования был рассчитан коэффициент конкордации Кендалла и проведен тест Фридмана. Коэффициент

конкордации Кендалла находится в пределах от 0 до 1 и показывает степень согласованности мнений экспертов. Чем выше коэффициент, тем мнения экспертов являются более согласованными.

В таблице 3 представлены результаты анализа опросного листа.

Таблица 3 – Результаты вычисления коэффициента конкордации Кендалла и тест Фридмана

Friedman ANOVA and Kendall Coeff. of Concordance (Spreadsheet5)				
ANOVA Chi Sqr. (N = 10, df = 24) = 222,4364 p =0,00000				
Coeff. of Concordance = 0,92682 Aver. rank r = 0,91869				
Событие	Average Rank	Sum of Ranks	Mean	Std. Dev.
1	3	3,5	3,5	3
2	3	3,5	3,5	3
3	16,5	15	16	17
4	3	3,5	9,5	3
5	24,5	25	24,5	22
6	9,5	15	9,5	9,5
7	9,5	9	9,5	9,5
8	9,5	3,5	3,5	9,5
9	3	3,5	3,5	3
10	21,5	21,5	21,5	24,5
11	9,5	9	16	9,5
12	16,5	15	16	17
13	24,5	21,5	24,5	24,5
14	3	3,5	3,5	3
15	9,5	9	9,5	9,5
16	9,5	15	9,5	9,5
17	21,5	21,5	21,5	17
18	16,5	15	16	17
19	21,5	21,5	21,5	22
20	9,5	9	3,5	9,5
21	21,5	21,5	21,5	22
22	16,5	15	16	17
23	16,5	15	16	17
24	16,5	21,5	16	17
25	9,5	9	9,5	9,5

В результате расчета коэффициент конкордации составил 0.93, следовательно, степень согласованности мнений и степень надежности полученных оценок высокая.

С помощью значений средних рангов возможно расположить события на шкале относительно друг друга. Следовательно, событие у которого наименьший ранг является наименее вероятным:

$$3,3 < 3,9 < 4,45 < 7,55 < 7,65 < 8,15 < 9,95 < 10,05 < 10,6 < 11,25 < 15,6 < 16,0 < 16,6 < 16,65 < 17,10 < 19,8 < 21,0 < 21,9 < 22,05 < 23,75 < 23,95 \\ \Rightarrow 1=2=9, 4, 14, 8, 20, 25, 16, 6=7, 15, 11, 23, 12, 18, 24, 3=22, 17, 19, 21, 10, 5, 13$$

Наиболее вероятным событием является событие 13, наименее вероятным события 1, 2, 9.

Результаты проведенного анализа представлены на рисунке 10.

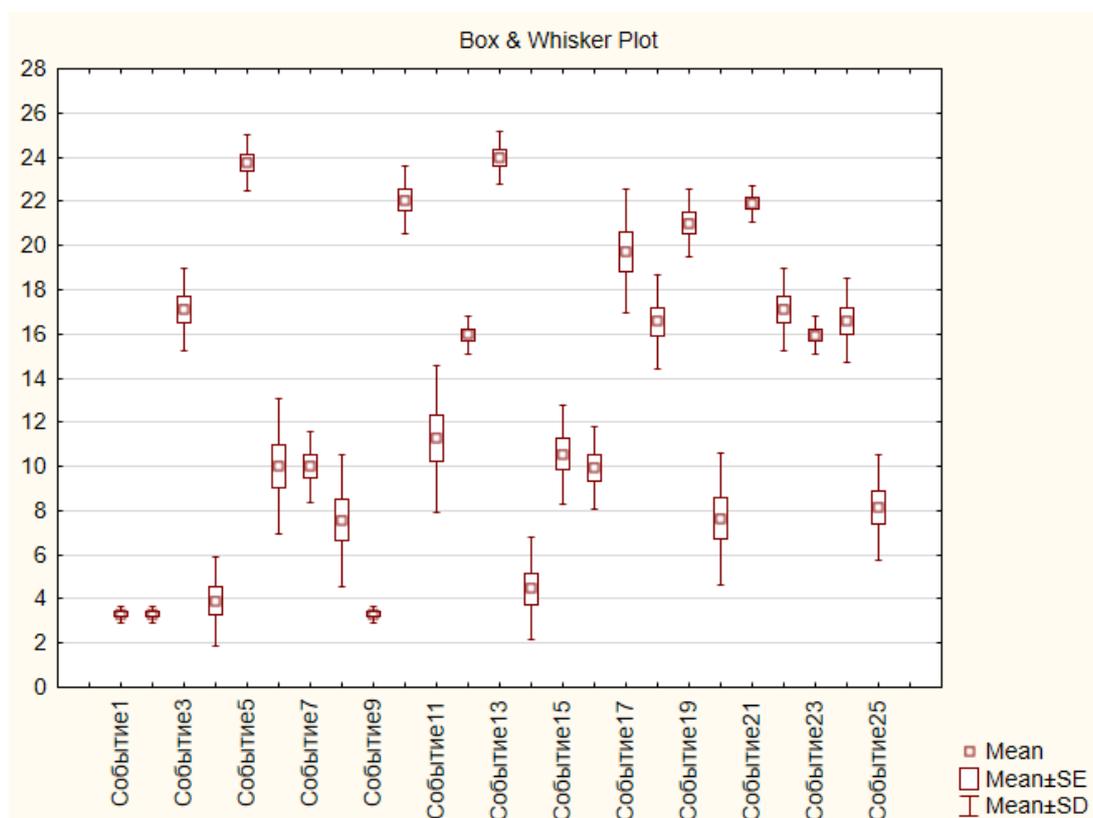


Рисунок 10 – Графическое представление результатов экспертной оценки опросного листа

Исходя из графических данных, события можно разделить на 3 группы:

- наиболее вероятные события: 21, 10, 5, 13. К ним относятся: незаземленные токоведущие части, низкий уровень минерального масла (механическое повреждение целостности бака), перегрузка

трансформатора (высокое напряжение в первичной обмотке), течь минерального масла из сварного шва (нарушение сварного шва от механических воздействий);

- наименее вероятные события: 1, 2, 9. К ним относятся: межкристаллитная коррозия из-за длительной вибрации активной части трансформатора, воздействие окисляющего трансформаторного масла на металл, наличие искры;
- остальные события являются событиями средней вероятности.

4.2 Расчет параметров поражения в результате взрыва ТВС

На территории трансформаторной подстанции может произойти взрыв силового трехфазного трансформатора ТДТН-63000/110-УХЛ1. Полная масса силового трансформатора составляет 117200 кг; полная масса масла – 30190 кг. Средний радиус от места взрыва до жилой застройки составляет 100 м.

Масса взрываемого вещества составляет 30 % от общей массы, исходя из расчета парциальных давлений, и равна 9057 кг.

4.2.1 Расчет интенсивности теплового излучения и времени существования «Огненного шара»

При расчете параметров взрыва рассчитывается интенсивность теплового излучения на расстоянии 100 м (жилые дома, административные здания) и время, в течение которого существует «огненный шар».

Интенсивность теплового излучения рассчитывается по формуле:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 31,86 \text{ кВт/м}^2, \quad (1)$$

где E_f – среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, равная 350 кВт/м²;

F_q – угловой коэффициент облученности;

τ – коэффициент пропускания атмосферы.

Угловой коэффициент облученности рассчитывается по формуле 2:

$$F_q = \frac{\frac{H}{D_s} + 0,5}{4 \cdot \left[\left(\frac{H}{D_s} + 0,5 \right)^2 + \left(\frac{r}{D_s} \right)^2 \right]^{1,5}} = 0,0949 \quad , \quad (2)$$

где H – высота центра «огненного шара», м,

D_s – эффективный диаметр «огненного шара», м;

r – расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром «огненного шара», м.

Эффективный диаметр «огненного шара» и высота рассчитываются по формулам:

$$D_s = 5,33 \cdot m^{0,327} = 105 \text{ м}, \quad (3)$$

$$H = \frac{D_s}{2} = 52,5 \text{ м}, \quad (4)$$

где m – масса горючего вещества.

Коэффициент пропускания атмосферы рассчитывается по формуле:

$$\tau = \exp \left[-7,0 \cdot 10^{-4} \left(\sqrt{r^2 + H^2} - \frac{D_s}{2} \right) \right] = 0,959. \quad (5)$$

Время существования «огненного шара»:

$$t_s = 0,92 \cdot m^{0,303} = 14,55 \text{ с}. \quad (6)$$

В результате расчета интенсивность теплового излучения составила 31,86 кВт/м² в соответствии с ГОСТ Р 12.3.047-2012 будет происходить разложение деревянных конструкций, обугливание ткани, резины. Для людей через 3-5 с наступят непереносимые болевые ощущения, при воздействии 6-8 с и 12-16 с ожоги 1 и 2 степеней. [20].

Персонал, в количестве одного человека, постоянно находящегося на рабочем месте и обслуживающий трансформаторную подстанцию, погибнет.

4.2.2 Определение зон очага взрыва трансформаторного масла

Чтобы определить зоны очага взрыва трансформаторного масла, необходимо рассчитать воздействие ударной волны.

При взрыве выделяются следующие зоны:

- зона бризантного действия;

- зона действия огненного шара;
- зона воздушной ударной волны [21].

Также выделяют зоны разрушений:

- зоны полных разрушений ($\Delta P_{\Phi}=50$ кПа);
- зоны сильных разрушений ($\Delta P_{\Phi}=30$ кПа);
- зоны средних разрушений ($\Delta P_{\Phi}=20$ кПа);
- зоны слабых разрушений ($\Delta P_{\Phi}=10$ кПа).

Определим расчетным путем радиусы зон разрушений, чтобы определить зоны очага взрыва, используя массу трансформаторного масла (M) – 60380 кг и расстояние $R_3=100$ м (расстояние до жилых домов).

Радиус детонационной волны определяется по формуле 7:

$$R_1 = 1,75 \times \sqrt[3]{M} = 36\text{ м} \quad (7)$$

где M – масса взрываемого вещества.

Согласно формуле 7 радиус зоны детонационной волны будет равен 69 м. Величина избыточного давления в зоне детонационной волны постоянна $\Delta P_{\Phi 1} = 1750$ кПа.

Радиус зоны продуктов взрыва:

$$R_2 = 1,7 \times R_1 = 61\text{ м} \quad (8)$$

Избыточное давление на границе зоны действия продуктов взрыва:

$$\Delta P_{\Phi 2} = \frac{233}{\sqrt{1+0,41 \times \left(\frac{R_3}{R_1}\right)^3 - 1}} = 109,47\text{ кПа} \quad (9)$$

где R_3 – расстояние до жилых домов и административных зданий.

Для определения радиусов зон полных, сильных, средних и слабых разрушений необходимо использовать значение относительной величины Ψ , а полученные результаты свести в таблицу для построения графика.

$$\Psi = 0,24 \times \frac{R_3}{R_1} \quad (10)$$

$$\text{При } \Psi \leq 2, \Delta P_{\Phi 3} = \frac{700}{3 \times (\sqrt{1+29,8 \times \Psi^3} - 1)} \quad (11)$$

$$\text{При } \Psi \geq 2, \Delta P_{\Phi 3} = \frac{22}{\Psi \times \sqrt{\log \Psi + 0,158}} \quad (12)$$

При взрыве 60380 кг трансформаторного масла будут следующие величины избыточного давления (таблица 4)

Таблица 4– Зависимость избыточного давления от радиуса при взрыве трансформатора

R, м	100	200	300	400	500
Избыточное давление, кПа	109,34	31,26	16,23	10,82	8,03

По данным таблицы 4, методом интерполяции были получены значения радиусов зон поражения, которые представлены ниже:

- зона полных разрушений – 176 м;
- зона сильных разрушений – 208,38 м;
- зона средних разрушений – 274,92 м;
- зона слабых разрушений – 429,39 м.

На рисунке 11 представлена топографическая карта с зонами разрушений.

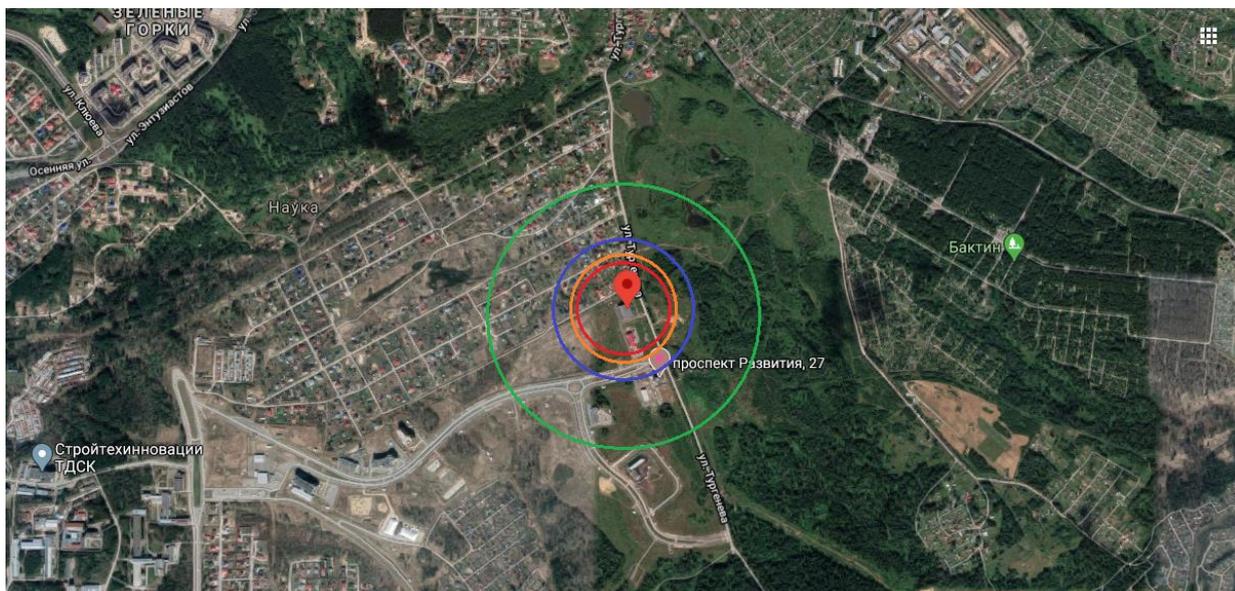


Рисунок 11 – Зоны разрушений

На рисунке 11 красной меткой обозначена трансформаторная подстанция, зеленая изолиния – зоны слабых разрушений, синяя изолиния – зоны средних разрушений, оранжевая изолиния – зоны сильных разрушений, красная изолиния – зоны полных разрушений.

В зону полных разрушений попадают жилые дома, административные здания. В зону сильных и средних разрушений попадают жилые дома. В зону слабых разрушений попадают Стройтехинновации ТДСК и научно-производственное предприятие «Стелс», где создаются специальные интеллектуальные телематические системы для разных областей экономики, а также жилые дома.

4.3 Разработка рекомендаций по снижению вероятности реализации ЧС

В результате проведения метода экспертных оценок выявили наиболее вероятные события, которые могут привести к взрыву трансформатора и соответственно, к чрезвычайной ситуации.

Необходимо использовать заземление токоведущих частей трансформаторной подстанции в соответствии с ГОСТ 12.1.030-81 [22].

В качестве заземлителей в первую очередь используются естественные заземлители. Так как трансформаторная подстанция является подстанцией закрытого типа сопротивление заземляющего устройства должно соответствовать ПУЭ [23].

Для недопущения перегрузки трансформатора, а именно высокого напряжения в первичной обмотке, двум силовым трансформаторам необходимо иметь равные напряжения КЗ. Так как трансформаторы на подстанции работают параллельно нагрузка распределяется неравномерно, мощности используются по-разному, в результате этого происходит перегрузка силового трансформатора.

Рекомендуется заменить стальной бак для трансформаторного масла на бак, сделанный из энергопоглощающего материала. Преимуществом бака из энергопоглощающего материала является способность оставаться целым без повреждений при избыточном давлении. Поглощение энергии происходит с помощью последовательно деформируемых перегородок, следовательно, минеральное масло, находящееся внутри, получит минимальные повреждения.

Применение системы TRANSFORMER PROTECTOR, которая позволяет предотвратить взрыв бака для трансформаторного масла. С помощью данной системы возможно в течение нескольких миллисекунд снизить давление в баке, прекратить выделение взрывчатых газов из бака без участия воздуха [24].

Для предотвращения взрывов трансформаторных подстанций необходимо соблюдать инструкции по охране труда, требования безопасности, разработанные предприятием.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Одним из направлений государственной политики в области охраны труда является сохранение жизни и здоровья работника. Безопасность работника в условиях любого современного производства обеспечивается правовой, социально-экономической, организационно-технической, санитарно-гигиенической, лечебно-профилактической защитой.

В данной работе рассматривается понижающая трансформаторная подстанция, которая находится на территории города Томска. Обслуживает данную трансформаторную подстанцию электромонтер по обслуживанию подстанций.

Комплектная трансформаторная подстанция включает в себя силовой трансформатор. Продолжительность срока эксплуатации силовых трансформаторов напрямую зависит от срока службы изоляционных материалов, которые используются в конструкции трансформатора. Продолжительные температурные, химические и динамические воздействия вызывают старение изоляционных материалов, что приводит к снижению электрической прочности и изменению механических характеристик. В конечном итоге силовой трансформатор выходит из строя. При этом возможен взрыв трансформаторного масла или самого трансформатора и как следствие пожар.

Необходимо рассмотреть опасные и вредные факторы, которые действуют в рабочей зоне на электромонтера при обслуживании трансформаторных подстанций; факторы оказывающие негативное влияние на литосферу и атмосферу; факторы способные привести к развитию чрезвычайной ситуации.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные трудовые нормы трудового законодательства

К работе допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование, имеющие удостоверение электромонтера на группу допуска по электробезопасности, прошедшие обучение, инструктаж на рабочем месте и проверку знаний требований безопасности в комиссии на допуск работы:

- по электробезопасности;
- работа с электрооборудованием [25].

Обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний осуществляется в Российской Федерации с января 2000 года в соответствии с Федеральным законом от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ (ред. от 07.03.2018) «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний», которым установлены правовые, экономические и организационные основы обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний и определен порядок возмещения вреда, причиненного жизни и здоровью работника при исполнении им обязанностей по трудовому договору [26].

В соответствии со статьей 212 Трудового кодекса Российской Федерации обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда возлагаются на работодателя [27].

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны электромонтера

Чтобы обеспечивать надежную работу трансформаторной подстанции, необходимо осуществлять постоянно контроль над режимом ее работы. В случае возникновения отклонений от нормального режима

работы нужно принимать меры по нормализации работы трансформаторной подстанции.

Обслуживание трансформаторной подстанции производится электромонтерами по обслуживанию подстанций. Основные обязанности электромонтера по обслуживанию трансформаторных подстанций изложено в ТИ Р М-068-2002 «Типовая инструкция по охране труда для электромонтера по обслуживанию подстанций». К ним относится:

- контроль над режимом работы оборудования, который осуществляется в течение смены;
- ликвидация аварий и технологических нарушений;
- осуществление оперативного обслуживания подстанции: переключения в режимных целях, вывод оборудования в ремонт;
- участие в организации безопасного выполнения работ, в частности выполнение работ по подготовке рабочих мест и допуска бригад к выполнению работ на территории подстанции.

Работы в электроустановках относятся к работам с повышенной опасностью и на их выполнение в обязательном порядке необходимо оформлять наряд-допуск. В нем указываются меры по подготовке рабочего места, разрешение на подготовку рабочих мест и допуск, инструктаж членов бригады при первичном допуске, ежедневный допуск к работе и ее окончание, изменения в составе бригады [28].

5.2 Производственная безопасность

Для идентификации опасных и вредных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [29].

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для данной производственной среды представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Возможные опасные и вредные факторы действующие на электромонтера при обслуживании трансформаторной подстанции

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Недостаточная освещенность	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
2. Воздействие электромагнитных полей	ГОСТ 12.1.002-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах
3. Неблагоприятные условия микроклимата	СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
4. Работа на высоте	Приказ от 28 марта 2014 года N 155н «Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте» (ред. от 20.12.2018)
5. Электроопасность	ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

5.2.1 Анализ опасных и вредных факторов производственной среды

Недостаточная освещенность

Недостаточная освещенность рабочей зоны часто может быть причиной производственного травматизма. От освещенности может зависеть здоровье работника и его работоспособность, а также физическое и психоэмоциональное состояние. В помещениях различного назначения требования освещенности различаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (таблица 6) [30].

Таблица 6 – Нормы освещенности производственных помещений

Характеристика зрительной работы	Средней точности
Наименьший размер или объект различения	Свыше 0,5 до 1
Разряд зрительной работы	IV
Подразряд зрительной работы	Г
Контраст объекта с фоном	Средний, большой
Характеристика фона	Светлый, средний
Освещенность, лк	200

При недостаточной освещенности рабочей зоны следует применять дополнительное местное освещение.

Должны применяться переносные светильники только заводского изготовления. У ручного переносного светильника должна быть металлическая сетка, крючок для подвески и шланговый провод с вилкой.

Для освещения мест производства работ на открытых территориях применяются осветительные приборы прожекторного типа и светильники наружного освещения с газоразрядными источниками света и лампами накаливания.

Воздействие электромагнитных полей

Силовые трансформаторы, кабель являются источниками электромагнитного поля промышленной частоты. Воздействие электрического поля негативно влияет на нервную систему человека, что может привести к нарушению эндокринной системы, физиологических функций (ритм сердечных сокращений, уровень кровяного давления). Электромагнитные поля не должны превышать допустимые уровни напряженности поля на различных частотах, приведенных в ГОСТ 12.1.002-84 (таблица 7) [31].

Таблица 7 – Допустимые уровни напряженности электрического поля и продолжительность пребывания электромонтера без средств защиты

Напряженность электрического поля, кВ/м	Допустимая продолжительность пребывания человека в течение суток, мин
менее 5	без ограничений
5-10	не более 180
10-15	не более 90
15-20	не более 10
20-25	не более 5

При работе в зоне влияния электрического поля необходимо ограничивать время пребывания в этой зоне в зависимости от уровня напряженности электрического поля или применять экранирующие устройства либо экранирующие комплекты одежды.

Неблагоприятные условия микроклимата

Понижение температуры окружающей среды может привести к увеличению теплоотдачи организма. При переохлаждении организма уменьшается функциональная деятельность органов человека, скорость

биохимических процессов, снижается внимание, затормаживается умственная деятельность, снижается активность и работоспособность.

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 в зависимости от энергозатрат работа электромонтера относится к категории Пб, так как работа выполняется сидя, стоя, при ходьбе с переносом тяжести до 10 кг [32].

Работу при низкой температуре следует выполнять в теплой спецодежде и чередовать по времени с нахождением в обогреваемом помещении.

Работы на высоте

Работы на высоте являются опасным видом работ, с производством которых связано большое количество несчастных случаев.

К работам на высоте относятся работы, при которых существуют риски, связанные с возможным падением работника с высоты 1,8 м и более, а также существуют риски, связанные с возможным падением работника с высоты менее 1,8 м, если работа проводится над машинами или механизмами, поверхностью жидкости или сыпучих мелкодисперсных материалов, выступающими предметами [33].

При работе на высоте более 1,3 м над уровнем земли, пола, площадки необходимо применять предохранительный пояс.

Для защиты головы от ударов случайными предметами в помещениях с действующим энергооборудованием, в закрытых распределительных устройствах (ЗРУ), открытых распределительных устройствах (ОРУ), колодцах, камерах, каналах и туннелях, строительных площадках и ремонтных зонах необходимо носить защитную каску, застегнутую подбородным ремнем.

Электроопасность

Напряжение является основным опасным фактором при эксплуатации силовых трансформаторов, так как существует опасность включения человека в электрическую цепь и поражения током.

Опасность поражения электрическим током зависит от окружающей среды и обстановки. Сырость, жара, едкие пары и газы, токопроводящая пыль разрушающе действуют на изоляцию электроустановок, значительно снижают ее сопротивление. Создается опасность перехода напряжения на нетокопроводящие части электрооборудования (корпуса, станины, кожухи), с которыми работающий находится в контакте.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 8.

Таблица 8 – Допустимые значения напряжения и тока, проходящих через тело человека

Род тока	U, В	I, mA
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Для защиты от поражения электрическим током служат следующие защитные средства: указатели напряжения; слесарно-монтажный инструменте изолирующими рукоятками для работы в электроустановках напряжением до 1000 В; диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики, изолирующие накладки и подставки; переносные заземления; оградительные устройства, диэлектрические колпаки, плакаты и знаки безопасности.

Основными электробезопасными средствами в электроустановках напряжением выше 1000 В являются изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ (площадки, изолирующие звенья телескопических вышек и пр.).

5.2.2 Обоснование мероприятий по защите работника от действия опасных и вредных факторов

Электромонтер должен работать в спецодежде и применять средства защиты, выдаваемые в соответствии с действующими отраслевыми нормами.

Электромонтеру бесплатно выдаются согласно отраслевым нормам следующие средства индивидуальной защиты:

- полукомбинезон хлопчатобумажный – на 1 год;
- каска защитная – на 2 года;
- рукавицы комбинированные – на 3 месяца;
- галоши диэлектрические – дежурные;
- перчатки диэлектрические – дежурные.

При выдаче двойного сменного комплекта спецодежды срок носки удваивается. В зависимости от характера работ и условий их производства электромонтеру бесплатно временно выдается дополнительная спецодежда и защитные средства для этих условий.

Электротравмы связаны с ненадлежащим уровнем эксплуатации оборудования, приводящим к снижению сопротивления изоляции, появлению напряжения на нетоковедущих его частях. Значительное количество электротравм вызывается неудовлетворительной организацией рабочего места и невыполнением требований должностных инструкций и требований охраны труда, также это может быть обусловлено неудовлетворительной конструкцией и монтажом оборудования: наличием открытых токоведущих частей, недостаточным расстоянием между токоведущими частями и металлическими конструкциями оборудования, отсутствием сигнализации, блокировки.

Предотвращение электротравматизма включает в себя обширный комплекс мероприятий. Среди них можно выделить мероприятия тактического рода, которые осуществляются по следующим направлениям:

- Техническое направление заключается в устранении технических причин, связано с заменой оборудования, которое имеет недостатки в конструкции и большую изношенность.
- Организационное направление сводится к созданию на рабочем месте определенных условий, которые будут способствовать повышению эффективности труда. Особое место здесь занимают различные плакаты, стенды, посвященные охране труда, технике безопасности.

Трехступенчатый контроль – это один из способов отслеживать состояние условий и охраны труда, трудовую дисциплину на рабочих местах, соблюдение стандартов безопасности труда, норм, правил, инструкций.

Контроль на первой ступени ежедневно перед началом работы проводят руководители участков (мастера, начальники участков, начальники смены). На этом этапе проверяются состояние условий труда на рабочем месте, наличие необходимого для работы исправного инструмента и приспособлений, наличие, исправность и правильность использования работниками средств индивидуальной защиты, состояние электробезопасности и соблюдение работниками правил электробезопасности при работе на электроустановках и с электроинструментом, наличие у работников удостоверений, нарядов-допусков на выполнение работ с повышенной опасностью.

Ответственным за контроль на второй ступени назначается руководитель цеха, отдела с участием уполномоченного по охране труда из профсоюза. На этом этапе к проверке могут подключиться представители технических служб подразделения, специалист службы охраны труда организации. Проводится контроль не реже двух раз в месяц, при этом проверяют: организацию, периодичность проведения и результаты работы первой ступени контроля; ведение Журнала трехступенчатого контроля; выполнение мероприятий, намеченных после предыдущих проверок на первой и второй ступенях контроля; выполнение распоряжений

руководителя организации и профсоюза по вопросам охраны труда; выполнение предписаний органов государственного надзора и контроля; выполнение мероприятий, разработанных по результатам расследования несчастных случаев; состояние охраны труда в подразделениях, наличие плакатов по охране труда, сигнальных цветов, знаков безопасности; своевременность и качество проведения инструктажей работников по охране труда; наличие и правильность использования работниками средств индивидуальной защиты; состояние санитарно-бытовых помещений и устройств; соблюдение установленного режима труда и отдыха, трудовой дисциплины.

Контроль на третьей ступени проводит комиссия во главе с руководителем организации или главным инженером и председателем профсоюзного комитета. В ее состав включают также руководителя службы охраны труда, технической службы и уполномоченного сотрудника по охране труда из профсоюза. Контроль проводят не реже одного раза в квартал, при этом проверяют: организацию, периодичность проведения и результаты работы первой и второй ступеней контроля; ведение Журнала трехступенчатого контроля; выполнение мероприятий, предусмотренных коллективными договорами, соглашениями по охране труда и другими документами; выполнение мероприятий, разработанных по результатам расследования тяжелых и групповых несчастных случаев и аварий; выполнение приказов и распоряжений, предписаний и указаний органов государственного надзора; обеспеченность работников санитарно-бытовыми помещениями и устройствами; организацию обучения и инструктажей по охране труда.

5.3 Экологическая безопасность

5.3.1 Анализ возможного влияния трансформаторных подстанций на окружающую среду

Трансформаторная подстанция, работающая в нормальном режиме, не оказывает негативное влияние на атмосферу. Если происходит отклонение от нормального режима работы, то на атмосферу будет влиять:

- выбросы, возникающие при проведении пусконаладочных работ;
- сушка трансформаторного масла;
- выхлопные газы автотранспорта, принадлежащего компаниям, обслуживающим трансформаторную подстанцию;
- выбросы, возникающие при варке и спайке элементов оборудования подстанций.

Участки, находящиеся рядом с трансформаторной подстанцией, утратившие свою продуктивность земель, подлежат рекультивации. Это может происходить по нескольким причинам:

- пожар на трансформаторной подстанции;
- разлив трансформаторного масла;
- взрыв оборудования [34].

Не допускается засорение земельных участков в ходе эксплуатации подстанций. После проведения строительных или ремонтных работ траншеи, ямы, находящиеся на территории объекта, должны быть засыпаны, растительный слой грунта должен быть восстановлен.

5.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

При техническом обслуживании и ремонте трансформаторных подстанций следует выполнять мероприятия по:

- предотвращению попадания трансформаторного масла на рельеф местности;
- соблюдению требований стандартов и санитарных норм в области;

- очистке загрязненных ливнеотоков;
- соблюдению требований экологической безопасности и рационального природопользования.

Для обслуживания маслonaполненного оборудования должны быть организованы централизованные масляные хозяйства, оборудованные: резервуарами для хранения масла, насосами, поддонами для сбора проливов, устройствами для очистки, осушки и регенерации масел, емкостями для транспортировки масла.

На территории подстанций следует осуществлять мероприятия по сбору и удалению масла (при наличии маслonaполненного оборудования) с целью исключения возможности растекания его по территории и попадания в почву.

Маслоочистительные установки (сепараторы), установленные стационарно, должны иметь исправную дренажную систему, а приемный бак грязного масла - мерное стекло с защитным кожухом от повреждений. Под фильтропрессами должны устанавливаться поддоны для сбора масла и удаления его в специальную емкость [35].

На территории подстанции должен проводиться производственный экологический контроль.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать трансформаторная подстанция

Анализируя возможные ЧС на трансформаторной подстанции, выявили, что наиболее вероятной ЧС является пожар, в дальнейшем сопровождающийся взрывом трансформатора.

Одной из наиболее распространённой причиной является удар молнии, из-за которого возможна перегрузка трансформатора. Повреждение проводов или оборудования в других местах электрической сети также может привести к взрыву трансформатора. Кроме того, износ и

коррозия со временем могут ослабить изоляцию провода или других компонентов трансформатора, увеличивая вероятность выхода из строя, что может привести к взрыву трансформаторного масла или самого трансформатора, и как следствие взрыв.

5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Чтобы это предотвратить взрывы трансформаторов в первую очередь нужно соблюдать разработанные инструкции на предприятии по охране труда при эксплуатации трансформаторов, соблюдать требования безопасности перед началом работы, во время работы и по окончании работ.

Не эксплуатировать трансформатор без масла или при понижении уровня масла в расширителе ниже температурной отметки, при несоответствии отобранного масла нормам качества по результатам физико-химического анализа.

Мероприятия, обеспечивающие пожарную безопасность трансформаторов, можно разделить на две группы. К первой относится мероприятие, связанное с оборудованием трансформаторов аппаратами защиты и различными предохранительными устройствами. Во вторую группу входят мероприятия, связанные с рациональным размещением трансформаторов и масляных выключателей, размещением соответствующего оборудования, а также планировкой помещения и открытых площадок и выбором средств тушения пожаров. На трансформаторах в общем случае должна предусматриваться релейная защита от повреждений и ненормальных режимов.

Пожар на закрытой трансформаторной подстанции относится к классу Е, так как это пожар горючих веществ и материалов электроустановок, находящихся под напряжением. Первичное тушение пожара на электроустановках под напряжением проводится

углекислотными огнетушителями (ОУ-2, ОУ-3, ОУ-5) заполненными специальными, токонепроводящими, ОТВ [36].

В электроустановках из первичных средств, предназначенных для тушения пожара, используют: песок – для тушения мелких возгораний кабелей, электропроводки или горючих жидкостей, войлок или асбестовое волокно, огнетушители – водные, воздушно-пенные, углекислотные.

К средствам пожарной автоматики относятся: автоматические установки пожарной сигнализации, автоматические установки пожаротушения.

Обучение пожарно-техническому минимуму руководителей, специалистов и работников организаций, связанных с взрывопожароопасным производством, 1 раз в год. Обучение пожарно-техническому минимуму (ПТМ) осуществляется в соответствии с:

- Федеральным законом от 21 декабря 1994г. (с изм. от 11.02.13) №69-ФЗ "О пожарной безопасности";
- С требованиями п.3 "Правил противопожарного режима в Российской Федерации";
- Приказом МЧС № 645 от 12.12.2007 "Об утверждении Норм пожарной безопасности "Обучение мерам пожарной безопасности работников организаций".

Обучение ПТМ может проводиться без отрыва от производства или с отрывом от производства. С отрывом от производства обучение проходят руководители организаций и лица, ответственные за пожарную безопасность на предприятии. Без отрыва от производства обучение ПТМ проходят все остальные сотрудники предприятий, обучение проводится непосредственно руководителем и/или ответственным за пожарную безопасность.

Оперативный план пожаротушения составляется подстанций и является основным документом, который устанавливает порядок организации тушения пожаров на подстанциях, взаимодействия персонала

групп подстанций и личного состава пожарных подразделений, которые прибыли на место пожара, а также определяет меры безопасности, обязательные для выполнения при тушении пожара.

При возникновении пожара на подстанции первый заметивший загорание должен сообщить начальнику. В свою очередь начальник должен немедленно сообщить о пожаре в пожарную охрану, при этом назвать адрес подстанции, место возникновения пожара, указать количество трансформаторного масла, находящегося в горящем оборудовании, сообщить диспетчеру ОДС г. Томска. Начальник группы подстанций до прибытия первого пожарного подразделения к месту пожара является руководителем тушения пожара и обязан оценить пожарную обстановку, спрогнозировать распространение пожара и возможность образования новых очагов горения, принять меры по созданию безопасных условий персоналу и пожарных подразделений для тушения пожара, в случае угрозы жизни людей немедленно организовать их спасение, произвести необходимые операции по отключению и заземлению оборудования, отключение или переключение в зоне пожара может производиться по типовым бланкам переключения или по оперативным карточкам, с последующим уведомлением диспетчера ОДС, мобилизовать персонал и членов ДПД на тушение пожара первичными средствами пожаротушения, направить для встречи пожарных подразделений лицо, хорошо знающее расположение подъездных путей и ближайших водоисточников;

Старший начальник пожарной охраны, прибывший к месту пожара, обязан немедленно связаться с руководителем тушения пожара, получить от него данные об обстановке на пожаре и письменный допуск на проведение тушения в котором указывается, какое оборудование или какие его токоведущие части остались под напряжением, какие обесточены и принять на себя обязанности руководителя тушения пожара.

Целью раздела «Социальная ответственность» было рассмотрение характеристики объекта исследования и области его применения, и различных факторов, влияющих на рабочих, и окружающую среду.

В разделе производственная безопасность проведён анализ опасных и вредных факторов, оказывающих негативное действие на электромонтера и представлены меры по снижению влияющих вредных факторов.

В разделе экологическая безопасность произведён анализ воздействия объекта на атмосферу, литосферу и разработаны решения по обеспечению экологической безопасности.

В разделе безопасность в ЧС представлен перечень возможных ЧС на объекте, выбрана наиболее типичная ЧС для объекта, которой является пожар и как следствие взрыв трансформатора. Проведены разработки по превентивным мерам предупреждения ЧС в результате взрыва трансформатора.

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Суть бакалаврской работы по теме: «Оценка рисков чрезвычайных ситуаций при эксплуатации трансформаторных подстанций» заключается в изучении территориального риска аварий, взрывов или пожаров на трансформаторной подстанции, относящейся к одной из категорий опасных производственных объектов – трансформаторная подстанция на территории города Томска. Для этого в бакалаврской работе проводится расчёт риска аварий и взрывов на объекте, дерево событий, которые могут привести в чрезвычайной ситуации на объекте исследования.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является выявление и разработка мероприятий, отвечающим современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Задачами, обеспечивающими реализацию поставленной цели, являются: выполнение анализа конкурентных технических решений, составление структуры работ в рамках научного исследования, определения трудоемкости выполнения работ, разработку графика проведения научного исследования, составление бюджета НИИ (материальные затраты, основная заработная плата, дополнительная заработная плата, накладные расходы и т.д.), а также определение социальной и экономической эффективности исследования.

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В данной выпускной квалификационной работе исследуется оценка рисков чрезвычайных ситуаций при эксплуатации трансформаторных подстанций. Произвести стандартную оценку рисков на трансформаторной

подстанции с использованием статистических данных не представляется возможным. В работе использовался вероятностный метод оценки рисков с применением такого инструмента, как метод экспертных оценок. Потенциальными потребителями результатов данной ВКР являются объекты электроэнергетики, использующие трансформаторные подстанции, расположенные как на территории РФ, так и за ее пределами.

Сегментирование рынка услуг по использованию методики оценки рисков можно выполнить по следующим критериям: размер объекта электроэнергетики – предназначение методики оценки рисков (таблица 9).

Таблица 9 – Карта сегментирования рынка услуг по использованию методики оценки рисков

Предназначение методики оценки рисков	Размер предприятия		
	Крупное	Среднее	Мелкое
Разработка паспорта безопасности объекта	1,2,3	1,2,3	1,2,3
Определение причин возникновения ЧС	1,2,3	1,2,3	1,2,3
Метод экспертных оценок	1,2,3	1,2,3	1,2,3
Выбор и применение средств автоматического отключения подстанции	1,2,3	1,2,3	1,2,3

1 – государственная районная электростанция, 2 – теплоэлектростанция, 3 – атомная электростанция.

Как видно из карты сегментирования, методика оценки рисков обладает высокой конкурентоспособностью, в силу своей необходимости и неуклонности потенциально опасных объектов прохождения процедуры оценки рисков. Это обусловлено тем, что оценка рисков является наиболее эффективным превентивным мероприятием. При оценке рисков учитываются не только неблагоприятные события и несчастные случаи, происшедшие ранее, но и опасности, пока не вызвавшие неблагоприятных последствий.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Для анализа альтернативных методов оценки рисков была выбрана оценочная карта. Для оценки конкурентных способов была выбрана шкала от 1 до 5, где:

- 1 – наиболее слабая позиция;
- 2 – ниже среднего, слабая позиция;
- 3 – средняя позиция;
- 4 – выше среднего, сильная позиция;
- 5 – наиболее сильная позиция.

В таблице 10 представлен анализ конкурентных технических решений. Вероятностный метод обозначен как Б_В, феноменологический метод как Б_Ф, детерминистский как Б_Д.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _В	Б _Ф	Б _Д	К _В	К _Ф	К _Д
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Удобство в эксплуатации	0,11	5	3	4	0,55	0,33	0,44
Визуализация полученных результатов	0,12	5	4	4	0,6	0,48	0,48
Полнота представления данных	0,12	5	3	3	0,6	0,36	0,36
Потребность в дополнительных исследованиях	0,18	3	2	2	0,54	0,36	0,36
Универсальность метода	0,08	4	3	3	0,32	0,24	0,24
Специальное оборудование	0,09	4	4	4	0,36	0,36	0,36
Предоставляемые возможности	0,14	5	4	2	0,7	0,56	0,28
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,09	4	4	5	0,36	0,36	0,45
Конкурентоспособность продукта	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
Итого	1	39	31	31	4,31	3,33	3,25

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \times B_i \quad (13)$$

где K – конкурентоспособность вида;

V_i – вес критерия (в долях единицы);

B_i – балл каждого вида транспорта (по пятибалльной шкале).

Согласно данным, представленным в таблице, можно сделать вывод, что использование вероятностного метода при экспертном методе является наиболее эффективным и целесообразным при проведении

оценки рисков ЧС при эксплуатации трансформаторных подстанций. Уязвимость других методов обусловлена низким удобством применения данных методов и малыми предоставляемыми возможностями.

6.1.3 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. По своему содержанию данный инструмент близок к методике оценки конкурентных технических решений.

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1 (таблица 11).

Таблица 11 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Удобство в эксплуатации	0,1	90	100	0,9	0,09
2. Визуализация полученных результатов	0,15	80	100	0,8	0,12
3. Полнота представления данных	0,1	60	100	0,6	0,06
4. Потребность в дополнительных исследованиях	0,15	90	100	0,9	0,135
5. Универсальность метода	0,1	70	100	0,7	0,07
6. Специальное оборудование	0,1	80	100	0,8	0,08
7. Предоставляемые возможности	0,1	75	100	0,75	0,075

Продолжение таблицы 11

Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
1. Цена	0,1	80	100	0,8	0,08
2. Конкурентоспособность продукта	0,1	90	100	0,9	0,09
Итого	1				0,8

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i \quad (14)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя P_{cp} получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

По результатам оценки качества и перспективности делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направлениях ее дальнейшего улучшения. В данной работе средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки получилось 80, что говорит о перспективности.

6.1.4 SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT- анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для того что бы найти сильные и слабые стороны, вероятностного метода и методов-конкурентов проведем SWOT–анализ (таблица 12).

Таблица 12 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Прогнозирование и выявление опасностей в широком масштабе С2. Способность охватывать различные виды отраслей энергетики С3. Устойчивое финансовое положение С4. Потребность предприятий в проведении оценки рисков С5. Постоянная информационная насыщенность.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Невозможность предвидеть все риски Сл2. Большой срок проведения исследования Сл3. Для каждого потребителя требуется индивидуальный подход Сл4. Низкая скорость продвижения новых технологий в области оценки рисков Сл5. Недостаток финансирования на усовершенствование проекта.</p>
<p>Возможности: В1.Создание партнерских отношений со всеми видами отраслей энергетики В2. Большой потенциал усовершенствования методики оценки рисков. В3. Сокращение энергозатрат за счет реализации функциональной стратегии в области ОТ, промышленной безопасности и экологии(HSE). В4.Рост и развитие новых трансформаторных подстанций, требующих проведения оценки рисков В5. Создание новых видов методик оценки рисков.</p>		
<p>Угрозы: У1. Падение спроса при появлении новых конкурентов У2. Невостребованность проекта в связи с истощением ресурсной базой У3.Неточность проведения оценки риска.</p>		

Продолжение таблицы 12

У4. Колебания цен на данное исследование. У5. Снижение цен у конкурентов.		
--	--	--

Выявим соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта. Данное соответствие или несоответствие помогут выявить потребность в проведении стратегических изменений. Для этого построим интерактивные матрицы проекта.

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	0
	B2	–	–	0	0	+
	B3	0	0	+	0	–
	B4	+	+	0	+	+
	B5	0	+	–	–	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и возможности: B1C1C2C3C4, B4C1C2C4C5.

Таблица 14 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	–	–	0	–	–
	B2	+	+	+	+	0
	B3	–	+	+	+	–
	B4	–	–	+	–	–
	B5	+	+	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B2Сл1Сл2Сл3Сл4, B3Сл2Сл3Сл4, B5Сл1Сл2Сл3Сл4Сл5.

Таблица 15 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	–	+	+	–	–
	У2	–	+	–	+	–
	У3	+	+	–	–	+
	У4	–	–	+	–	–
	У5	0	–	0	–	–

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и угроз: У1С2С3, У2С2С4, У3С1С2С5.

Таблица 16 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	–	–	0	0	0
	У2	–	–	–	0	–
	У3	+	–	+	+	–
	У4	–	–	–	–	0
	У5	–	–	0	–	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У3Сл1Сл3Сл4.

Таблица 17 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Прогнозирование и выявление опасностей в широком масштабе</p> <p>С2. Способность охватывать различные виды отраслей энергетики</p> <p>С3. Устойчивое финансовое положение</p> <p>С4. Потребность предприятий в проведении оценки рисков</p> <p>С5. Постоянная информационная насыщенность.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Невозможность предвидеть все риски</p> <p>Сл2. Большой срок проведения исследования</p> <p>Сл3. Для каждого потребителя требуется индивидуальный подход</p> <p>Сл4. Низкая скорость продвижения новых технологий в области оценки рисков</p> <p>Сл5 Недостаток финансирования на усовершенствование проекта.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1.Создание партнерских отношений со всеми видами отраслей энергетики</p> <p>В2. Большой потенциал усовершенствования методики оценки рисков.</p> <p>В3. Сокращение энергозатрат за счет реализации функциональной стратегии в области охраны труда,</p>	<p>-Способность охватывать различные виды отраслей и возможность в прогнозировании и выявлении опасностей в широком масштабе дают большую возможность создавать партнерские отношения со всеми видами отраслевой промышленности, тем самым сохранять устойчивость финансового положения.</p>	<p>-Методика нуждается в усовершенствовании, т. к. в ней есть некоторые негативные моменты, такие как невозможность предвидеть все риски, большой срок проведения исследования и низкая скорость продвижения новых технологий в области оценки рисков, при этом для каждого потребителя требуется индивидуальный подход.</p>

Продолжение таблицы 17

<p>промышленной безопасности и экологии(HSE). В4.Рост и развитие новых трансформаторных подстанций, требующих проведения оценки рисков В5. Создание новых видов методик оценки рисков.</p>	<p>-С каждым годом количество новых трансформаторных подстанции увеличивается и, поэтому, увеличивается необходимость в проведении оценки рисков, следовательно, растет востребованность методики</p>	<p>-При реализации функциональной стратегии в области охраны труда, промышленной безопасности и экологии(HSE) сократятся все негативные моменты, напрямую зависящие от энергозатрат. -Целесообразность в создании новых видов методик оценки рисков состоит в том, чтобы повысить положительные стороны и минимизировать негативные.</p>
<p>Угрозы: У1. Падение спроса при появлении новых конкурентов У2. Невостребованность проекта в связи с истощением ресурсной базой У3.Неточность проведения оценки риска. У4. Колебания цен на данное исследование. У5.Снижение цен у конкурентов.</p>	<p>-При появлении новых конкурентов на рынке следует ожидать падение спроса и, как в следствие этого, снижение финансового положения, и, возможно, сосредоточение только на определенных потребителях. -При истощении ресурсной базы потребитель будет вынужден прекратить своё производство и отказаться от услуг исследования, что ведет к невостробованности проекта. -Несмотря на большие возможности проекта, имеется потенциальная возможность неточности проведения оценки рисков.</p>	<p>-Все вышеперечисленные негативные моменты напрямую связаны с неточностью проведения оценки риска, поэтому методика нуждается в усовершенствовании.</p>

6.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Анализ риска осуществляет обоснование частоты возникновения и специфики различного рода аварий, а также определение количественных показателей, связанных с этим социального, материального, экологического ущерба.

Основной элемент анализа рисков – идентификация опасностей, которые могут привести к негативным последствиям.

Основные задачи этапа идентификации опасностей – выявление и четкое описание всех источников опасностей и путей (сценариев их реализации).

Для этого рассмотрим объект исследования при помощи морфологического подхода.

Таблица 18 – Морфологическая матрица для причин реализации ЧС при эксплуатации трансформаторных подстанций

	1	2	3
А. Повышенная температура в трансформаторе	Снизить напряжение в первичной обмотке	Поддерживать уровень минерального масла в трансформаторе	Использовать качественные материалы для сердечника в трансформаторе
Б. Некачественный ремонт/монтаж	Строгий контроль вышестоящих органов над проведением работ	Проведение инструктажа перед проведением работ	Строгая отчетность о проделанной работе
В. Отклонение от норм функционирования трансформатора	Использовать в трансформаторе качественные материалы и обмотку	Недопущение коррозии металла	Качественное минеральное масло

Варианты решения задачи следующие: 1)А1Б2В1 – для снижения температуры в трансформаторе целесообразно не допустить повышение напряжения в первичной обмотке, провести инструктаж перед проведением работ и использовать в трансформаторе качественные материалы и обмотку; 2)А2Б3В3 – поддерживать уровень минерального масла в трансформаторе, вести строгую отчетность о проделанной работе и использовать качественное минеральное масло 3)А3Б1В1 – следует использовать качественные материалы для сердечника в трансформаторе, осуществлять строгий контроль вышестоящих органов над проведением работ и не допускать коррозию металла.

6.3 Планирование научно-исследовательских работ

6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в следующем порядке:

1. определение структуры работ в рамках научного исследования;
2. определение участников каждой работы;
3. установление продолжительности работ;
4. построение графика проведения научных исследований.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Выбор темы выпускной квалификационной работы	Руководитель
	2	Составление календарного плана написания выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент
Теоретическая подготовка	3	Подбор литературы для написания выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент
	4	Изучение, анализ, систематизация информации для выполнения выпускной квалификационной работы	Студент
	5	Написание теоретической части выпускной квалификационной работы	Студент
Проведение расчетов и их анализ	6	Подведение промежуточных итогов выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент
	7	Выполнение практической части выпускной квалификационной работы	Студент
	8	Анализ полученных результатов	Студент
Обобщение и оценка результатов	9	Подведение итогов выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент
	10	Согласование и проверка работ с научным руководителем	Руководитель, студент

Таким образом, выделили основные этапы работ и их содержание, а также исполнителей, выполняющие данные работы.

6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоёмкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5} \quad (15)$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяем продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитываем параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i} \quad (16)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками,

характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (17)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Коэффициент календарности в 2020 году составил:

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 118} = 1,48 \quad (18)$$

Для определения календарных дней выполнения работы необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{\text{кал}} \quad (19)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Таблица 20 – Временные показатели проведения научного исследования

Название Работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ож i}$, чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
Выбор темы выпускной квалификационной работы	1	1	1	3	3	3	2	2	2	Руководитель	2	2	2	2	2	2
Составление календарного плана написания выпускной квалификационной работы	2	2	2	4	4	4	3	3	3	Руководитель, студент	1	1	1	1	1	1
Подбор литературы для написания выпускной квалификационной работы	7	6	6	14	12	12	10	8	8	Руководитель, студент	5	4	4	7	6	6
Изучение, анализ, систематизация информации для выполнения выпускной квалификационной работы	10	10	10	15	15	15	12	12	12	Студент	12	12	12	18	18	18
Написание теоретической части выпускной квалификационной работы	13	13	13	19	19	19	15	15	15	Студент	15	15	15	22	22	22
Подведение промежуточных итогов выпускной квалификационной работы	6	5	5	12	10	10	8	7	7	Руководитель, студент	4	3	3	6	4	4
Выполнение практической части выпускной квалификационной работы	9	9	9	16	16	16	12	12	12	Студент	12	12	12	18	18	18
Анализ полученных результатов	14	14	14	17	17	17	15	15	15	Студент	15	15	15	22	22	22
Подведение итогов выпускной квалификационной работы	2	1	2	5	3	4	3	2	3	Руководитель, студент	2	1	2	3	1	3
Согласование и проверка работ с научным руководителем	2	2	2	10	10	10	5	5	5	Руководитель, студент	2	2	2	3	3	3

Таблица 21 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

№	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал.дни	Продолжительность работ												
				Февраль		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Выбор темы выпускной квалификационной работы	Руководитель	2	■												
2	Составление календарного плана написания выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент	1		■											
3	Подбор литературы для написания выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент	7		■	■										
4	Изучение, анализ, систематизация информации для выполнения выпускной квалификационной работы	Студент	18			■	■	■								
5	Написание теоретической части выпускной квалификационной работы	Студент	22					■	■	■						
6	Подведение промежуточных итогов выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент	6								■	■				
7	Выполнение практической части выпускной квалификационной работы	Студент	18								■	■	■			
8	Анализ полученных результатов	Студент	22										■	■	■	
9	Подведение итогов выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент	3													■
10	Согласование и проверка работ с научным руководителем	Руководитель, студент	3													■

■ – Научный руководитель

■ – Студент

6.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \times N_{расхi} \quad (20)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.).

Таблица 22 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб			Затраты на материалы, 3м, руб		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Бумага	лист	250	100	150	2	2	2	500	200	300
Картридж	шт.	1	1	1	700	700	700	700	700	700
Шариковая ручка	шт.	2	1	2	20	20	20	40	20	40
Карандаш	шт.	1	1	1	10	10	10	10	10	10
Блокнот	шт.	1	0	1	50	0	50	50	0	50
Итого								1300	930	1100

Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приводится в таблице 23.

Таблица 23 – Расчет основной заработной плат

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн.,			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Выбор темы выпускной квалификационной работы	Руководитель	2			2,5			5		
2.	Составление календарного плана написания выпускной	Руководитель, студент	1			2,6			2,6		

Продолжение таблицы 23

	Квалификацион- ной работы								
3.	Подбор литературы для написания выпускной квалификацион-ной работы	Руководитель, студент	5	4	4	2,6	13	10,4	10,4
4.	Изучение, анализ, систематизация информации для выполнения выпускной квалификацион-ной работы	Студент	12			0,1	1,2		
5.	Написание теоретической части выпускной квалификацион-ной работы	Студент	15			0,1	1,5		
6.	Подведение промежуточных итогов выпускной квалификацион-ной работы	Руководитель, студент	4	3	3	2,6	10,4	7,8	7,8
7.	Выполнение практической части выпускной квалификацион-ной работы	Студент	12			0,1	1,2		
8.	Анализ полученных результатов	Студент	15			0,1	1,5		
9.	Подведение итогов выпускной Квалификацион-ной работы	Руководитель, студент	2	1	2	2,6	5,2	2,6	5,2
10.	Согласование и проверка работ с научным руководителем	Руководитель, студент	2			2,6	5,2		
ИТОГО							48,2	40,3	42,9

Заработная плата научного руководителя и студента включает основную заработную плату и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (21)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (15% от $Z_{\text{осн}}$)

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) научного руководителя и студента рассчитана по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \times T_p \quad (22)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \times M}{F_d} \quad (23)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \times k_p \quad (24)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент;

k_d – коэффициент доплат и надбавок;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 для г. Томска.

Месячный должностной оклад руководителя темы, руб.:

$$Z_m = 30000 \times (1 + 0,3 + 0,3) \times 1,3 = 62400 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад студента, руб.:

$$Z_m = 1988 \times (1 + 0 + 0) \times 1,3 = 2584,4 \text{ руб.}$$

Таблица 24 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель темы	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	65	65
- праздничные дни	15	15
Потери рабочего времени		
- отпуск	28	0
- невыходы по болезни	0	5
Действительный годовой фонд рабочего времени	190	200

Среднедневная заработная плата научного руководителя, руб.:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{62400 \times 10,4}{257} = 2525,14 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата студента, руб.:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{2584,4 \times 11,2}{252} = 114,86 \text{ руб.}$$

Рассчитаем рабочее время:

Руководитель: $T_p = 16$ раб. дней

Студент: $T_p = 68$ раб. дней

Основная заработная плата научного руководителя составила:

$$Z_{\text{осн}} = 2525,14 \times 16 = 40402,24 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата студента составила:

$$Z_{\text{осн}} = 114,86 \times 68 = 7810,48 \text{ руб.}$$

Таблица 25 – Расчет основной заработной платы научного руководителя и студента

Исполнители	$Z_{\text{ТС}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$ руб.	T_p , раб. дней	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Научный руководитель	30000	0,3	0,3	1,3	62400	2525,14	16	40402,24
Студент	1988	0	0	1,3	2584,4	114,86	68	7810,48
Итого $Z_{\text{осн}}$, руб.								48212,72

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн}} \quad (25)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принимается равным 0,12;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (26)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования).

Таблица 26 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	40402,24	32826,82	35351,96	4848,27	3939,22	4242,24
Студент-дипломник	7810,48	7465,9	7580,76	937,26	895,91	909,69
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,28					
Итого						
Исполнение 1	15119,51 руб.					
Исполнение 2	12635,79 руб.					
Исполнение 3	13463,70 руб.					

Накладные расходы

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{м}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \times k_{\text{нр}} \quad (27)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Накладные расходы составили:

$$Z_{\text{накл}}^{\text{исп1}} = [1300 + (40402,24 + 7810,48) + (4848,27 + 937,26) + 15119,51] \times 0,16 = 11266,84 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{накл}}^{\text{исп2}} = [930 + (32826,82 + 7465,9) + (3939,22 + 895,91) + 12635,79] \times 0,16 = 9390,98 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{накл}}^{\text{исп3}} = [1100 + (35351,96 + 7580,76) + (4242,24 + 909,69) + 13463,70] \times 0,16 = 10023,74 \text{ руб.}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 27 – Расчет бюджета затрат ВКР

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НТИ	1300	930	1100
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	48212,72	40212,72	42932,72
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	5785,53	4835,13	5151,93
4. Отчисления на социальные нужды	15119,51	12635,79	13463,70
5. Накладные расходы	11266,84	9390,98	10023,74
6. Бюджет затрат НТИ	81684,6	68004,62	72672,09

6.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (28)$$

где $I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.1}} = \frac{81684,6}{81684,6} = 1; \quad I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.2}} = \frac{68004,62}{81684,6} = 0,83; \quad I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.3}} = \frac{72672,09}{81684,6} = 0,89;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i \quad (29)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 28 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4	4
3. Помехоустойчивость	0,15	5	3	3
4. Энергосбережение	0,2	4	4	5
5. Надежность	0,25	5	3	4
6. Материалоемкость	0,15	4	5	3
Итого	1	4,65	3,65	3,9

$$I_{p-исп1} = 0,1 \times 5 + 0,15 \times 5 + 0,15 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,25 \times 5 + 0,15 \times 4 = 4,65;$$

$$I_{p-исп2} = 0,1 \times 3 + 0,15 \times 4 + 0,15 \times 3 + 0,2 \times 4 + 0,25 \times 3 + 0,15 \times 5 = 3,65;$$

$$I_{p-исп3} = 0,1 \times 4 + 0,15 \times 4 + 0,15 \times 3 + 0,2 \times 5 + 0,25 \times 4 + 0,15 \times 3 = 3,9.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{фин.р}^{исп1}} = \frac{4,65}{1} = 4,65 \quad I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{фин.р}^{исп2}} = \frac{3,65}{0,83} = 4,39;$$

$$I_{исп3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{фин.р}^{исп3}} = \frac{3,9}{0,89} = 4,38$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}} \quad (30)$$

Таблица 29 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,83	0,89
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,65	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,65	4,39	4,38
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,944	0,941

Исполнение 1 – вероятностный метод, исполнение 2 – феноменологический, исполнение 3 – детерминистский.

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения бакалаврской работы был проведен анализ литературных источников по статистическим данным аварий на трансформаторных подстанциях.

Проведен анализ функционирования опасного производственного объекта – трансформаторной подстанции ПС 110/35/10 кВ «ОЭЗ» с двумя трансформаторами 110/35/10 кВ мощностью 63 МВА. Составлены вероятностные модели развития чрезвычайной ситуации, а именно дерево неисправностей, дерево событий. На основе двух построенных моделей была сформирована диаграмма «галстук-бабочка», где представлены мероприятия, направленные на сдерживание факторов ЧС.

Был проведен метод экспертных оценок. Экспертам предлагалось оценить по пятибалльной шкале вероятность наступления 25 факторов и событий, которые могут привести к взрыву трансформаторной подстанции. Коэффициент конкордации Кендалла составил 0,93, что свидетельствует о высокой согласованности мнений экспертов. В результате были выявлены наиболее и наименее вероятные события, способные привести к ЧС. Наиболее вероятным событием является механическое повреждение бака для трансформаторного масла, течь минерального масла из сварного шва.

Рассчитаны и определены зоны поражения при взрыве трансформаторной подстанции:

- зона полных разрушений – 176 м;
- зона сильных разрушений – 208,38 м;
- зона средних разрушений – 274,92 м;
- зона слабых разрушений – 429,39 м.

В результате расчетов показано, что жилые дома и административные здания попадают в зоны поражения.

Предложены рекомендации по снижению вероятности возникновения ЧС. Рекомендуется использовать в качестве заземления естественные заземлители. Двум силовым трансформаторам нужно иметь равные напряжения КЗ, для того, чтобы не происходило перегрузки трансформаторов. Для уменьшения вероятности растекания минерального масла, заменить стальные баки на баки из энергопоглощающего материала. А также соблюдать инструкции по охране труда и по безопасности, для предотвращения появления аварии.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЯ СТУДЕНТА

1. Люкию Е. С., Методы оценки рисков реализации чрезвычайных ситуаций // Информационные технологии (ИТ) в контроле, управлении качеством и безопасности: сборник научных трудов VIII Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее» (издательство Томского политехнического университета), 2019. – с.157-161.
2. Люкию Е. С., Анализ методов оценки рисков реализации чрезвычайных ситуаций // Техносферная безопасность в XXI веке. IX Всероссийская научно-практическая конференция (г. Иркутск, 26–27 ноября 2019 г.): сборник научных трудов магистрантов, аспирантов и молодых ученых. – Иркутск (издательство Иркутского национального исследовательского технического университета) 2019. – с. 178-184.
3. Люкию Е. С., Безопасное функционирование трансформаторных подстанций // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – с. 169-171.
4. Люкию Е. С., Безопасная эксплуатация трансформаторных подстанций // БЕЗОПАСНОСТЬ – 2020. Проблемы техносферной безопасности современного мира. Материалы докладов XXV Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием (г. Иркутск, 14 – 17 апреля 2020 г.). – Иркутск: Изд-во ИРННТУ, 2020 – с. 38-40.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обзор состояния отрасли трансформаторного производства и тенденций развития конструкции силовых трансформаторов / С.С. Костинский. – г. Новочеркасск., 2018. – 19 с.
2. Электричество от электростанции до трансформаторных подстанций [Электронный ресурс] / URL: <https://cable.ru/articles/id-266.php>, свободный, – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 18.03.2020 г.
3. Отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2018 году [Электронный ресурс] / URL: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/, свободный, – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.05.2020 г.
4. ГОСТ 24291-90. Электрическая часть электростанции и электрической сети. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2005.
5. Трансформаторные подстанции [Электронный ресурс] / URL: <https://www.elektro-expo.ru/ru/articles/transformatornaya-podstanciya/>, свободный, – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 18.03.2020 г.
6. Приказ от 29 июня 2016 года № 726-ст ГОСТ Р 22.2.06-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Оценка риска чрезвычайных ситуаций при разработке паспорта безопасности критически важного объекта и потенциально опасного объекта.
7. ГОСТ Р 22.2.06-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Оценка риска чрезвычайных ситуаций при разработке паспорта безопасности критически важного объекта и потенциально опасного объекта.
8. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

9. ГОСТ 982-80 Масла трансформаторные. Технические условия.
10. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 5 марта 2008 г. № 131 «Об утверждении Методических рекомендаций по осуществлению идентификации опасных производственных объектов».
11. ГОСТ 14695-80 (СТ СЭВ 1127-78) Подстанции трансформаторные комплектные мощностью от 25 до 2500 кВ·А на напряжение до 10 кВ. Общие технические условия. – М.:Издательство стандартов –1986.
12. Statistical Failure Analysis of European Substation Transformers [Electronic resource] / Farzaneh Vahidi, Stefan Tenbohlen // Conference: 6. ETG-Fachtagung Diagnostik elektrischer Betriebsmittel. – 2014. Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/272088767_Statistical_Failure_Analysis_of_European_Substation_Transformers.
13. Особая экономическая зона технико-внедренческого типа «Томск» – [Электронный ресурс] / URL: oez-investintomsk.ru, свободный, – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 14.05.2020 г.
14. ГОСТ Р 58771-2019 Менеджмент риска. Технологии оценки риска.
15. Я. Д. Вишняков, Н. Н. Радаев. Общая теория рисков: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. – 2-е издание, – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 368 с.
16. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11.04.2016 № 144 об утверждении руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».
17. Поломки КТП и их последствия: авария, инцидент, технологическое нарушение [Электронный ресурс] / URL: <https://tdmetz.ru/articles/polomka-ktp-i-posledstvija>, свободный, – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 06.04.2020 г.

18. Перенапряжение в сети [Электронный ресурс] / URL: <https://www.asutpp.ru/что-такое-perenaprjazhenie-v-seti.html>, свободный, – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 18.05.2020 г.
19. С.Д. Бешелев, Ф.Г.Гурвич Экспертные оценки. - М: Наука, 1973.
20. ГОСТ Р 12.3.047-2012 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
21. Федеральное агентство по образованию / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова / Теория горения и взрыва / А.Н. Лопанов. –Б.: 2010. – 43 с.
22. ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
23. «Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Седьмое издание» (утв. Главтехуправлением, Госэнергонадзором Минэнерго СССР 05.10.1979) (ред. от 20.06.2003)
24. TRANSFORMER PROTECTOR [Электронный ресурс] / URL: <https://www.sergi-tp.com/ru/>, свободный, – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 18.05.2020 г.
25. ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
26. Федеральный закон от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ (ред. от 01.04.2020) «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний».
27. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 16.12.2019).
28. ТИ Р М-068-2002. Типовая инструкция по охране труда для электромонтера по обслуживанию подстанций.
29. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

30. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
31. ГОСТ 12.1.002-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.
32. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
33. Министерство Труда и социальной защиты Российской Федерации приказ от 28 марта 2014 года N 155н «Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте» (ред. 20.12.2018).
34. Требования по экологической безопасности трансформаторных подстанций [Электронный ресурс] / URL: express-novosti.ru/get/8391627/trebovaniya-po-ekologicheskoy-bezopasnosti-transformatornyih-podstantsij.html, свободный, – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 28.04.2020 г.
35. РД 153-34.0-03.301-00 (ВППБ 01-02-95*). Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий.
36. ГОСТ Р 51057-2001 Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Опросный лист

Вам предложен опросный лист. К опросному листу имеются пояснения шкалы и таблицы. Вам нужно ознакомиться с ситуацией и присвоить вероятность к предложенным событиям, заполнить таблицу. При оценивании необходимо опираться на свои знания и опыт.

Описание: закрытая трансформаторная подстанция 110/35/10 кВ «ОЭЗ» с двумя трансформаторами 10/35/10 кВ мощностью 63 МВА каждый находится на территории особой экономической зоны в г. Томске. Трансформаторная подстанция находится 100 м от жилого сектора.

Опросный лист. Вам необходимо определить вероятность наступления события по 5-бальной шкале:

- 1 балл – очень низкая, скорее всего не произойдет (1-20 %);
- 2 балла – низкая, маловероятно, что произойдет (21-40 %);
- 3 балла – средняя, вероятно, что произойдет (41-60 %);
- 4 балла – высокая, скорее всего произойдет (61-80 %);
- 5 баллов – очень высокая, произойдет раньше, чем ожидается (81-100 %).

Таблица 30 – Опросный лист

№	Событие	Балл
Коррозия металла		
1	Межкристаллитная коррозия из-за длительной вибрации активной части трансформатора	
2	Воздействие окисляющего трансформаторного масла на металл	
Течь минерального масла из сварного шва		
3	Некачественное уплотнение в прокладке	
4	Некачественный сварной шов	
5	Нарушение сварного шва от механических воздействий	
6	Недостаточно притерта коробка в корпусе крана	
Замыкание в рабочих частях трансформатора		
7	Витковое замыкание	

8	Междуфазное замыкание	
Воспламенение минерального масла в трансформаторе		
9	Наличие искры	
10	Повышенная температура в трансформаторе (Перегрузка трансформатора (высокое напряжение в первичной обмотке))	
11	Повышенная температура в трансформаторе (Некачественный сердечник в трансформаторе)	
12	Повышенная температура в трансформаторе (Низкий уровень минерального масла)	
13	Низкий уровень минерального масла (Механическое повреждение целостности бака для трансформаторного масла)	
14	Низкий уровень минерального масла (Неисправный маслоуказатель)	
15	Повышенная температура в трансформаторе (Нарушение условий системы охлаждения в результате попадания тополиного пуха в жалюзийные решетки трансформатора)	
Некачественный ремонт/монтаж		
16	Незаземлённые токоведущие части	
17	Подача напряжения на неисправное оборудование	
18	Плохая регулировка приводов коммутаторов	
19	Недостаточно подтянутые контакты	
20	Заводские дефекты оборудования	
Неисправность системы защиты трансформаторной подстанции		
21	Незаземлённые токоведущие части	
22	Ненастроенная сетевая отсечка	
23	Несрабатывание токовой защиты в определенное время	
24	Неисправность средств автоматического ввода резерва	
25	Не включение аварийного вводного выключателя и отсутствие контроля перегрева обмотки трансформатора	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица 31 – Сводная таблица оценок экспертов по опросному листу

№	Событие	Номер эксперта										ср
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Коррозия металла												
1	Межкристаллитная коррозия из-за длительной вибрации активной части трансформатора	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Воздействие окисляющего трансформаторного масла на металл	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Течь минерального масла из сварного шва												
3	Некачественное уплотнение в прокладке	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3,2
4	Некачественный сварной шов	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1,1
5	Нарушение сварного шва от механических воздействий	5	5	5	4	5	5	5	4	4	5	4,7
6	Недостаточно притерта коробка в корпусе крана	2	3	2	2	2	2	3	2	3	2	2,3
Замыкание в рабочих частях трансформатора												
7	Витковое замыкание	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2,1
8	Междуфазное замыкание	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1,7
Воспламенение минерального масла в трансформаторе												
9	Наличие искры	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	Повышенная температура в трансформаторе (Перегрузка трансформатора (высокое напряжение в первичной обмотке))	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4	4,2
11	Повышенная температура в трансформаторе (Некачественный сердечник в трансформаторе)	2	2	3	2	2	2	2	3	3	2	2,3
12	Повышенная температура в трансформаторе (Низкий уровень минерального масла)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
13	Низкий уровень минерального масла (Механическое повреждение целостности бака для трансформаторного масла)	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5	4,8
14	Низкий уровень минерального масла (Неисправный маслоуказатель)	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1,2
15	Повышенная температура в трансформаторе (Нарушение условий системы охлаждения в результате попадания тополиного пуха в жалюзийные решетки трансформатора)	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2,2
Некачественный ремонт/монтаж												

16	Незаземлённые токоведущие части	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2,1
17	Подача напряжения на неисправное оборудование	4	4	4	3	4	4	3	3	4	4	3,7
18	Плохая регулировка приводов коммутаторов	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3,1
19	Недостаточно подтянутые контакты	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3,9
20	Заводские дефекты оборудования	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	1,7
Неисправность системы защиты трансформаторной подстанции												
21	Незаземлённые токоведущие части	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4,1
22	Ненастроенная сетевая отсечка	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3,2
23	Несрабатывание токовой защиты в определенное время	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
24	Неисправность средств автоматического ввода резерва	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3,1
25	Не включение аварийного вводного выключателя и отсутствие контроля перегрева обмотки трансформатора	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1,8